Il tempo è negli eventi che scorrono o è dentro di noi? Oppure, come sostengono i fisici da Einstein in poi, è un'illusione ostinata che ci impedisce di capire il mondo? Due secoli di indagini naturalistiche e sperimentali sui meccanismi della vita e della coscienza confermano ciò che i fisici negano: tutti gli esseri viventi dotati di un sistema nervoso, anche semplice, possiedono il senso del tempo. Ampiamente documentata da un apparato critico approfondito, questa posizione è avvalorata da ricerche ed evidenze presentate qui con chiarezza e rigore. Il senso del tempo è reale ed è una dimensione essenziale della vita. Come il linguaggio e il senso dello spazio, è un evento biologico prodotto da meccanismi nervosi emersi per selezione naturale. L'organizzazione nervosa dei meccanismi del tempo è complessa: le neuroscienze cognitive, impegnate nello studio dei processi che danno vita ai contenuti della coscienza – come il dolore fisico, lo spazio, il senso del bene e del male, la volontà, la musica, il silenzio, il movimento –, se ne occupano da almeno trent'anni, ma ancora oggi alcuni dilemmi fondamentali restano oscuri. Nonostante questo – è la tesi del libro – la neurobiologia del tempo è certamente uno dei meccanismi fondamentali della coscienza.

Arnaldo Benini è professore emerito di Neurochirurgia e neurologia presso l'Università di Zurigo. Collabora alle pagine di scienza e filosofia dell'edizione domenicale del *Sole 24 Ore*.

SCIENZA E IDEE

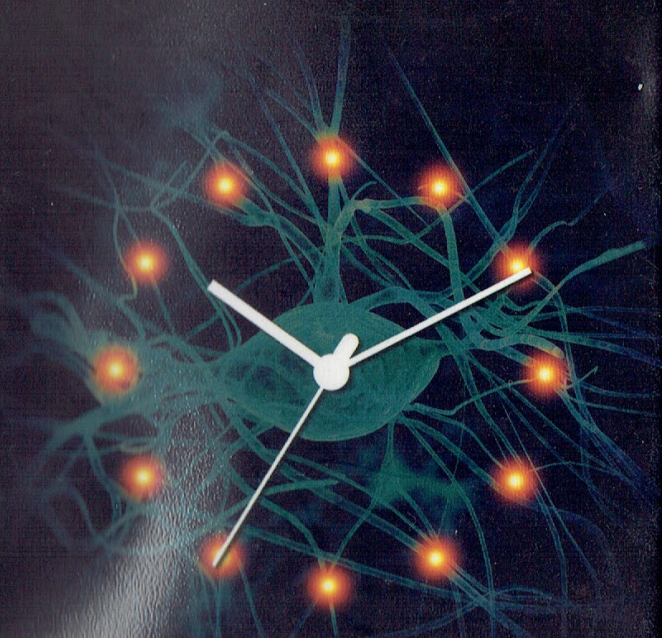
Collana diretta da Giulio Giorello

Arnaldo Benini
Neurobiologia del tempo

€ 14,00

Arnaldo Benini Neurobiologia del tempo

Arnaldo Benini
Neurobiologia del tempo



Dal catalogo

Peter Galison
Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré
Imperi del tempo

Benjamin Libet
Mind Time
Il fattore temporale nella coscienza

Étienne Klein
Il tempo non suona mai due volte

Arnaldo Benini

Neurobiologia del tempo

Raffaello Cortina Editore

www.raffaellocortina.it

ISBN 978-88-6030-880-1
© 2017 Raffaello Cortina Editore
Milano, via Rossini 4

Prima edizione: 2017

Stampato da
Consorzio Artigiano LVG, Azzate (Varese)
per conto di Raffaello Cortina Editore

Ristampe

1 2 3 4 5
2017 2018 2019 2020 2021

INDICE

1. Il tempo. Realtà o illusione? 13

2. Un accenno alla coscienza 19

3. L'enigma del tempo 21

4. Alla ricerca del tempo perduto.
Hermann von Helmholtz e Benjamin Libet 25
Il "temps perdu" di Hermann von Helmholtz 25
Gli esperimenti di Benjamin Libet 29

5. Che cos'è il tempo? 33

6. La realtà del tempo 39
GT, PT e timing 39
Tempo e linguaggio 41
Tempo e musica 44

7. I processi nervosi del senso del tempo 47
La durata 48
Durata prospettica e durata retrospettiva 50

8. L'illusione della simultaneità.
La compressione del tempo 53
La compressione del tempo nella stimolazione plurisensoriale 53
La compressione del tempo nell'esperienza audiovisuale 55
La compressione del tempo nella stimolazione monosensoriale 57
Causalità e compressione del tempo 59

Benjamin Libet sposta indietro il presente 61
La compressione consapevole del tempo in caso di lesioni del cervello: *Zeitrafferphänomen* 63
Il tempo compresso nell'età avanzata 65
La compressione del tempo come misura della vita 66

9. Tempo, spazio e numero nella natura vivente 69
Gli animali sentono il tempo e contano 69
Tempo, spazio e numero 71

10. Il senso del tempo durante il sonno 75

11. Il tempo del cervello ammalato di tumore maligno 81

12. Non ci possiamo congedare dal tempo 85
Il tempo ritorna? 86
Un primo incontro 88

13. Finale 91

Note 93

Glossario 115

Indice dei nomi 119

A Jeannette

Ringraziamenti

Ringrazio i colleghi che mi hanno aiutato con le loro osservazioni e con casi clinici: Silvia Hofer dell'Ospedale Cantonale di Lucerna, Peter Brugger dell'Università di Zurigo, Bruno Weder dell'Università di Berna, Margrit Hund dell'Università di Basilea. La responsabilità di ciò che nel libro si sostiene è solo mia.

Ringrazio Giulio Giorello e Raffaello Cortina per l'interesse verso questo lavoro. Sono riconoscente a Giovanna Bettini, Mariella Agostinelli e Elisa Montanucci, della Casa editrice Cortina, per la collaborazione.

Il tempo è un fiume che mi trascina,
ma io sono il fiume...

JORGE LUIS BORGES

La citazione di Jorge Luis Borges è tratta da "Nuova confutazione del tempo" (1946), contenuto in *Altre inquisizioni*, tr. it. in *Tutte le opere*, Mondadori, Milano 1984, vol. 1, p. 1089.

1

IL TEMPO

REALTÀ O ILLUSIONE?

Il tempo è nel mondo e nelle cose che percepiamo nel loro scorrere o è dentro di noi? E, in questo caso, come vengono ordinati nel tempo gli eventi di cui si è coscienti? Oppure, come sostengono i fisici da Einstein in poi, il tempo è un'illusione ostinata e noi capiremo il mondo solo quando riusciremo a considerarlo senza tempo? I fisici negano il tempo senza aver mai preso in considerazione i molti dati che lo confermano: sono dati della ricerca, del rigoroso riduzionismo neuroscientifico, non argomenti della speculazione teorica.

L'approccio delle scienze degli ultimi due secoli ai meccanismi della vita e della coscienza ha portato allo studio naturalistico e sperimentale della condizione umana, ivi compreso il senso del tempo.

Su di esso alcuni filosofi, da Platone e Plotino in poi, hanno scritto cose memorabili. Immanuel Kant, nel 1781, ha posto il fondamento concettuale sul quale si svilupperà poi la ricerca fisiologica del senso del tempo. Il tempo, scrive, "è dato *a priori*", è "una forma pura dell'intuizione sensibile" e non "qualcosa che sussista per se stesso". Esso è "una condizione *a priori* di ogni apparenza in generale". E aggiunge: "L'ordine e la regolarità delle apparenze, che noi chiamiamo natura, siamo [...] noi stessi a introdurli. D'altronde, noi non potremmo certo trovarli nella natura, se noi stessi [...] non li avessimo originariamente introdotti".[1] Per Kant, tempo e spazio sono forme della nostra sensibilità.[2]

Il tempo non è un attributo dell'Universo che noi percepiamo, ma è in noi. Le neuroscienze cognitive l'hanno localizzato

nel cervello e cercano dove siano e come funzionino i meccanismi che lo creano. Lo studio naturalistico dei meccanismi nervosi del senso del tempo inizia nel 1849 come conseguenza imprevista di una ricerca, che si rivelerà fondamentale, di un ventottenne scienziato tedesco, Hermann von Helmholtz (di cui si parla nel capitolo 3), il quale, studiando le contrazioni muscolari delle zampe delle rane, scoprì che fra applicazione dello stimolo elettrico e contrazione muscolare, ritenute fino ad allora simultanee, passa un certo tempo e che di questa durata inevitabile e costante la nostra coscienza non avverte nulla.

Il senso del tempo è presente in ogni esperienza, anche interiore (come riflettere, fare calcoli mentali, ascoltare e fare musica, recitare mentalmente una poesia), ed è prodotto da meccanismi nervosi capaci, come vedremo, di distorsioni massicce.

La riflessione sul tempo, fino ai lavori di Benjamin Libet a partire dagli anni Sessanta del Novecento, fu soprattutto terreno di psicologi come William James[3] e Eugène Minkowski,[4] di filosofi come Edmund Husserl,[5] Henri Bergson,[6] Martin Heidegger,[7] Paul Ricoeur[8] e di sociologi come Norbert Elias.[9] Con le molte pagine di Edmund Husserl, che conosceva i lavori di von Helmholtz, il tempo divenne uno dei temi centrali della filosofia. Husserl definisce la *Urempfindungsbewusstsein* come coscienza sensoriale originaria, che precede come *Urimpression* (impressione primordiale) la coscienza del tempo: la coscienza primordiale precede l'esperienza.[10] Il senso del tempo anticipa, per Husserl, come attributo della coscienza, l'esperienza.

À la recherche du temps perdu di Marcel Proust è una delle massime espressioni narrative di come il senso del tempo, che è la dimensione essenziale della memoria, sia il traliccio intrinseco dei ricordi. Proust, meticoloso cronista della memoria e di come il tempo cambi i ricordi, è un tale esploratore di eventi cerebrali da essere considerato un neuroscienziato, anche se *sui generis*.[11] Straordinario per acume e sagacia psicologica è il capitolo "Excursus sul senso del tempo" nella *Montagna magica* di Thomas Mann.[12] È un breve trattato sul senso dello scorrere del tempo, cioè della durata, secondo lo stato d'animo e l'età.

Martin Heidegger scrisse nel 1925 all'allieva Hannah Arendt che il brano era di una tale profondità da concentrare su di sé la sua completa attenzione.[13] Nonostante il tempo sia "una nozione complicata", come lo definì Paul Fraisse,[14] ed elusiva – del quale è lecito chiedersi, dal momento che non si vede, non si tocca, non ha suono né sapore né odore, di che natura sia e se veramente esista –,[15] esso non poteva sfuggire all'attenzione della ricerca scientifica. "L'evoluzione biologica impiegò molto tempo per costruire una macchina del tempo nel cervello [...], ma le conseguenze sono state enormi", scrive Endel Tulving. "Grazie al controllo mentale del tempo, gli esseri umani hanno acquisito un potere sulla Terra che compete, quando non lo supera, con quello della natura."[16]

Gli esperimenti di Benjamin Libet (di cui si parla nei capitoli 4 e 8) hanno dato l'avvio a un'intensa ricerca sui meccanismi nervosi del senso del tempo, alla quale si dedicano alcuni dei maggiori centri di ricerca.

I fisici teorici non si lasciarono influenzare (alcuni dissero "abbindolare") dal senso comune, da neuroscienziati (al lavoro dei quali, verosimilmente, non avevano prestato attenzione), romanzieri, psicologi, filosofi. A partire da Einstein, sostennero e sostengono che il tempo non esiste. "Il tempo non esiste. È necessario imparare a pensare il mondo in termini non temporali", scrive il fisico Rovelli, "sebbene questo risulti difficile sul piano dell'intuizione."[17] Il *t* nelle equazioni della fisica non serve più, perché il tempo è un'illusione.[18]

In una discussione sulla natura dello spazio e del tempo del 1994, né Stephen Hawking né Roger Penrose accennarono, anche solo come ipotesi corroborata per altro da una letteratura imponente, alla possibile natura nervosa del tempo,[19] né lo faranno più tardi. Gli studi sul tempo, cioè su una dimensione fondamentale della vita degli esseri viventi con sistema nervoso, hanno un aspetto paradossale: da un lato la fisica lo nega come illusione, dall'altro le neuroscienze e la biologia comparata trovano sempre nuovi dati sui meccanismi nervosi del senso del tempo nell'uomo e in molti esseri viventi, anche con sistema nervoso piccolissimo, a conferma della realtà di un evento

biologico le cui origini risalgono a sistemi nervosi minuscoli e a età remotissime.

I meccanismi nervosi del tempo sono stati selezionati nell'evoluzione e lavorano secondo i principi generali dei fenomeni cognitivi. Per questo una parte della ricerca può essere condotta sugli animali, un ambito in cui la mancanza di dati soggettivi è compensata, almeno in parte, dalla genialità della strategia della ricerca medesima. Noi aggiungiamo la considerazione dei disturbi del senso del tempo (alcuni particolarmente drammatici) quando il cervello è leso. Essi sono una conferma del tempo come meccanismo nervoso che richiede l'integrità delle aree che lo elaborano. Una lesione del cervello simula, entro certi limiti, le manipolazioni morfologiche e farmacologiche negli animali in laboratorio, con due limiti. Il primo è che, nonostante la capacità d'indagine delle tecniche moderne, in particolare della visualizzazione del cervello con TAC, risonanze magnetiche e potenziali evocati, non è sempre possibile circoscrivere l'estensione di una lesione. L'alterazione del parenchima cerebrale può essere più estesa di quanto si possa vedere e minuscole lesioni in posizioni strategiche possono provocare disturbi rilevanti. Inoltre, non sempre i sintomi di una lesione del cervello corrispondono alla sede del danno.

Nel 1914 il neurologo zurighese Constantin von Monakow elaborò la teoria della *diaschisis* per spiegare come una lesione cerebrale circoscritta possa modificare la funzione di aree cerebrali distanti. Il collegamento attraverso gli assoni dei neuroni della regione lesa (in genere da un ictus) con aree lontane può alterare il funzionamento di meccanismi cerebrali anche strutturalmente indenni.[20] La recente scoperta di fibre nervose molto lunghe corrobora la teoria.[21]

Nonostante queste cautele, l'apporto alla conoscenza del senso del tempo da parte dello studio clinico e strumentale delle lesioni cerebrali umane è rilevante nella tradizione delle neuroscienze cognitive che mossero i primi passi studiando, oltre a quelli di animali, cervelli umani lesi.[22]

Con la descrizione dei meccanismi cerebrali che lo creano e lo manipolano, questo libro intende confermare che il tempo è

reale, una delle realtà più vicine al cuore della natura, anche se per la fisica è un arcaico, obsoleto e ingannevole arnese mentale.

Ci sarebbero moltissimi altri esempi, studi ed esperimenti sulla biologia del tempo da riportare: sono stati scelti eventi fisicochimici del cervello e casi clinici sufficienti a dimostrare e confermare oltre ogni dubbio che il tempo è reale.

Fisica e neuroscienze non hanno mai preso in considerazione l'una i dati e le riflessioni sul tempo dell'altra. È una doppiezza unica, nello studio della natura – che conferma ciò che dice un fisico quantistico, di cui si parlerà nell'ultimo capitolo –, che la cultura contemporanea, a causa dell'estrema (e, per molti aspetti, benemerita) specializzazione, sia caratterizzata dall'incoerenza: chi è alla frontiera di una ricerca ignora ciò che avviene su altre frontiere. Circa il tempo, la stravaganza è che entrambe le discipline si occupano dello stesso evento naturale, chi per negarlo come illusione, chi per studiarlo sempre più a fondo, riducendolo a eventi fisicochimici nervosi che regolano la vita di moltissime specie.

A questo dilemma paradossale, che può essere risolto con la reintroduzione del tempo nella fisica, come sostengono anche fisici d'alto livello, è dedicato l'ultimo capitolo.

Non c'è scritto sul tempo che non ricordi le parole di Agostino: "Cos'è dunque il tempo? Se nessuno me lo chiede, lo so; se voglio spiegarlo a chi me lo chiede, non lo so [...]".[23] Oggi qualcosa si sa. Senza dimenticare l'ammonizione del fisico Max Planck, della quale erano e sono consapevoli scienziati prima e dopo di lui: la scienza non può risolvere gli ultimi misteri della natura, perché noi, che la studiamo, apparteniamo alla natura e, quindi, siamo parte del mistero che vorremmo risolvere.[24] Giusto l'ammonimento del fisico John Archibald Wheeler, secondo cui più cresce l'isola della conoscenza più s'allungano le coste dell'ignoranza.[25] La rigorosa disciplina della razionalità della scienza (anche di quella matematica, epitome della razionalità umana) ha i limiti conoscitivi della *conditio humana*.[26]

Il tempo è dunque reale ed è una dimensione essenziale della vita: questo libro descrive studi e prove della sua esistenza.

2

UN ACCENNO ALLA COSCIENZA

Nel libro ricorre più volte il riferimento alla coscienza. Non è possibile riportare qui le ricerche sui meccanismi nervosi della coscienza, sui quali esiste una letteratura sterminata (anche se spesso parecchio confusa). Una definizione esauriente della coscienza, pur nella sua brevità, è fornita non da un neuroscienziato, ma dal filosofo John R. Searle: essa "indica gli stati senzienti, sensibili e consapevoli che iniziano quando ci svegliamo e terminano quando ci addormentiamo". È indiscutibile che "tutti gli stati coscienti [...] sono causati da processi neuronali all'interno del cervello. [...] Tutte le caratteristiche della coscienza, senza eccezioni, sono causate da processi neurobiologici del cervello".[1]

Il senso del tempo è un evento della coscienza, anche se i suoi meccanismi nervosi sono attivi anche nell'incoscienza del sonno (vedi capitolo 10). Le neuroscienze della coscienza hanno dimostrato che di tutti gli stimoli, informazioni e percezioni che arrivano alla corteccia sensitiva primaria (per esempio, della visione o del suono), e di tutto ciò che viene prodotto nelle aree della riflessione ed elaborato nelle aree corticali, solo una piccola parte (forse una su dieci) diviene cosciente. Il resto, pur rimanendo attivo anche a lungo nei meccanismi che elaborano le informazioni, rimane incosciente. Quanto viene prodotto dalle aree sensitive e razionali della corteccia è "compresso" prima d'arrivare alla coscienza. Anche se incoscienti, tali elaborati sono nondimeno parte significativa dell'esperienza mentale, potendo influenzare riflessioni, stati d'animo, comportamento.

Gli eventi mentali che rimangono incoscienti non richiedono la stessa durata di attivazione nervosa di quelli coscienti e impiegano meno energia. Il cervello è sempre a corto di energia e ciò influisce sul suo funzionamento: la scelta delle informazioni che diventeranno coscienti sembra, nella maggior parte dei casi, casuale e potrebbe essere determinata dall'energia a disposizione di momento in momento. L'evento cosciente del senso del tempo è il risultato di manipolazioni che il cervello esercita nella nostra totale inconsapevolezza. Di ciò si parla nei capitoli 7 e 8.

Del tutto e per sempre incosciente è l'attività di un piccolo organo di neuroni, il nucleo soprachiasmatico dell'ipotalamo, che regola la vita vegetativa (pressione arteriosa, ritmo sonno-veglia, temperatura, livello degli ormoni ecc.) secondo una periodicità di circa 24 ore. Questo tempo cronobiologico coordina i cicli del funzionamento del corpo secondo il tempo solare, con una biologia circadiana (dal latino *circa*, intorno, e *dies*, giorno) fondamentale per l'adattamento all'ambiente. Il nucleo soprachiasmatico del tempo cronobiologico è un metronomo autoregolato e solo marginalmente coinvolto nel senso del tempo.[2] Il centro non è connesso con le aree della memoria, della numerosità, della razionalità, delle emozioni e dello spazio come lo sono quelle del senso del tempo.

Infine, una precisazione: non è del tutto corretto parlare di coscienza in riferimento all'uomo. Anche molti animali – lo sa bene chi ne ha qualcuno in casa – sono coscienti, capaci d'imparare e di manifestare stati d'animo. Per l'uomo il termine corretto è "autocoscienza": solo noi siamo in grado di porre noi stessi a oggetto della nostra riflessione e di pensare grazie al linguaggio interiore. Solo gli esseri umani sono autocoscienti. Del senso del tempo negli animali, che determina la loro esistenza senza che ne abbiano consapevolezza, si parla nel capitolo 9.

L'autocoscienza è sorta con lo sviluppo, nella linea di *Homo sapiens*, dei lobi prefrontali del cervello, iniziato circa due milioni e duecentomila anni fa. Gli scimpanzé, i primati a noi più vicini, con i quali condividiamo il 97 per cento del genoma, ne sono quasi completamente privi. I lobi prefrontali sono lo spartiacque morfologico e funzionale fra uomini e primati.

3

L'ENIGMA DEL TEMPO

Si rimane sorpresi, ha scritto con ironia e con un pizzico di sarcasmo lo psicologo americano Herbert Nichols' alla fine del XIX secolo, dalla varietà delle spiegazioni elaborate da filosofi e psicologi per tentare di venire a capo del mistero del tempo.

Il tempo è (o è stato) considerato un atto della mente, della ragione, della percezione, dell'intuizione, dei sensi, della memoria, della volontà e di tutte le loro combinazioni e interferenze. È ritenuto un senso generale che accompagna ogni contenuto mentale, allo stesso modo del dolore e del piacere. È considerato, però, anche come senso a sé, separato, speciale, disparato. È stato spiegato come se fosse "una sequela luminosa" o una fila di "blocchi allineati di presente specioso" o una "appercezione". È stato dichiarato *a priori*, innato, intuitivo, empirico, meccanico. Il tempo, motteggia Nichols, è stato dedotto dall'interno e dall'esterno, dal cielo e dalla Terra, e da diverse altre cose difficili da immaginare. Accesa fu la disputa sulla differenza fra lo stato ontologico del tempo di Isaac Newton e quello di Gottfried Wilhelm Leibniz. Per Newton il tempo esiste ed è assoluto, vero, matematico, unidirezionale, eterno, esterno all'Universo e misurato dall'orologio di Dio; il tempo fluisce sempre uguale ovunque, senza relazione con quel che avviene nell'Universo. Per Leibniz il tempo *an sich*, in sé, non esiste, essendo il tempo la relazione di eventi che si succedono. L'idea newtoniana del tempo eterno e assoluto è per Leibniz inaccettabile, perché il tempo sarebbe eterno e assoluto, attributi unici di Dio. E il tempo non è in Dio, perché,

allora, Dio avrebbe parti diverse, incompatibili con la semplicità divina. Noi – per Leibniz – riconosciamo continuamente relazioni causali fra le cose e i loro cambiamenti, e da ciò deriviamo l'ordine temporale.[2] Leibniz considera il tempo non come percezione del mondo ma come il meccanismo che ordina la realtà nel suo divenire.[3] In ciò anticipa la neurofisiologia, anche se nega l'esistenza del tempo perché non individua il meccanismo che lo elabora.

Due somme autorità culturali estranee alle secolari diatribe, il fisico Albert Einstein e il matematico Hermann Minkowski, all'inizio del XX secolo dichiararono che il tempo era la quarta dimensione dello spazio.[4] L'idea non era nuova. Nel 1751 il matematico e filosofo francese Jean le Rond d'Alembert scrisse che, contrariamente a ciò che aveva pensato – che non fosse possibile immaginare più di tre dimensioni –, "la durata può essere considerata una quarta dimensione".[5] Un misterioso "S." (rimasto sconosciuto), nel 1885, in una "lettera al direttore" di *Nature*,[6] ammise di preferire, tra le molte risposte alla domanda che cosa fosse la quarta dimensione, il tempo come quarta dimensione dell'esistenza, da introdurre nel *time-space*.

Nell'esposizione della teoria della relatività ristretta del 1905, Einstein dichiarò che il tempo è relativo alla velocità. Più alta la velocità, più lento il tempo. Minkowski, all'VIII congresso dei fisici e naturalisti organizzato a Colonia nel 1908, sostenne che tempo e spazio erano destinati a diventare ombre, e solo la loro unione avrebbe conservato una realtà indipendente.[7] Nello spaziotempo (con il quale la mente, in contrasto con l'ottimismo di Minkowski, non riesce a familiarizzarsi perché – dirà l'astrofisico Arthur Eddington nel 1928[8] – l'uomo, "in ogni sua fibra", sente che spazio e tempo hanno natura diversa) non ci sono direzioni del tempo e, quindi, non c'è presente, e se non c'è presente non c'è tempo. Ogni istante ha un suo spazio tridimensionale. Ogni evento è un punto dello spaziotempo.

Einstein, con molte resipiscenze – tant'è che, ancora nel 1929, si sospettava che non avesse le idee chiare sullo spaziotempo[9] – arrivò alla stessa conclusione nel 1915 con la teoria della relatività generale. In essa egli introdusse la forza di gravità, che agirebbe come un'onda gravitazionale, increspando lo spaziotempo. La recente conferma dell'esistenza delle onde gravitazionali non modifica la neurobiologia del tempo. Il tempo non dipende solo dal movimento, come nella relatività ristretta, ma anche dalle masse e dalla gravità che esse esercitano nello spazio. La gravità esercitata da grandi masse rallenta il tempo. Il tempo, quindi, dipenderebbe dal campo gravitazionale dello spazio, ovvero dalle onde della forza di gravità che in esso agiscono. Ogni oggetto ha un suo tempo, a seconda della sua posizione nello spazio e del suo movimento rispetto a un altro oggetto. Per Einstein esistono tempi diversi. Il tempo misurato da un orologio in cima alla montagna o sopra un tavolo è più veloce di quello misurato dallo stesso orologio a valle o sul pavimento, perché qui la forza di gravità è maggiore. In ogni punto dell'Universo, il tempo dipende da chi lo misura, pertanto non esiste come dimensione assoluta. Comunque, non bisogna temere che la nostra testa, che sta in alto, invecchi più velocemente dei piedi: non tanto perché la differenza fra i due campi gravitazionali comporta uno scarto di miliardesimi di secondo, quanto perché sono gli orologi – prodotti dal cervello per dare un connotato numerico al senso del tempo – ad andare più veloci o più lenti, non i fenomeni biologici.

Per Einstein, solo l'ostinata illusione degli sprovveduti (di fatto l'intera umanità, tranne sparute eccezioni) tiene in vita la differenza tra passato, presente e futuro. Una delle sparute eccezioni è il filosofo hegeliano John Ellis McTaggart che, in un famoso saggio del 1908, sostenne l'irrealtà del tempo con argomentazioni del tipo: passato, presente e futuro non hanno nulla in comune, quindi non esistono, quindi il tempo non esiste.[10]

Infine il cosmo quantico *è*, senza tempo.[11] Prima che venisse espulso dall'Universo con le equazioni della fisica, le scienze del sistema nervoso – a partire dalla metà del XIX secolo e a opera principalmente di Hermann von Helmholtz, una delle menti più capaci nella storia della scienza – iniziarono a studiare i meccanismi nervosi che creano e manipolano il tempo. Helmholtz scoprì l'intervallo che corre fra gli stimoli nervosi e quello che essi determinano. Di quell'intervallo, di quella la-

tenza fra due eventi reali, lo stimolo e la percezione del suo effetto, non si avverte nulla, anche se quella latenza è una delle regole dei meccanismi cerebrali, compresi quelli della coscienza: essa è quindi uno dei capisaldi dell'esistenza. Oggi si parla di *compressione del tempo*, cui è dedicato il capitolo 8: essa definisce la capacità del cervello di rendere incoscienti intervalli e latenze reali, spesso anche lunghi, fra gli eventi della coscienza.

La fisica non ha preso atto di ciò che le neuroscienze hanno studiato e trovato sul tempo e considera illusoria una delle dimensioni essenziali della vita. Pertanto, non si è chiesta da dove il tempo venga, anche se esso costituisce un aspetto evidente della realtà. Nel nostro cervello (e nei cervelli e sistemi nervosi degli esseri viventi) esistono meccanismi emersi nell'evoluzione per dare un ordine e una successione agli eventi della vita.

Collegato al senso del tempo c'è il senso dello spazio, anch'esso prodotto da meccanismi nervosi trasmessi geneticamente da una generazione all'altra. I meccanismi nervosi del senso dello spazio e del tempo sono in parte comuni. Nel cervello si realizza l'equivalenza spaziotemporale, che non è l'identificazione del tempo con la quarta dimensione dello spazio ma la conferma dell'esperienza che il senso del tempo si svolge e si esprime spesso – come vedremo – nello spazio.

4

ALLA RICERCA DEL TEMPO PERDUTO

HERMANN VON HELMHOLTZ E BENJAMIN LIBET

IL "TEMPS PERDU" DI HERMANN VON HELMHOLTZ

Il tempo di cui siamo coscienti non è il tempo dei meccanismi del cervello che lo formano, misurato dagli orologi, prodotti a loro volta dal cervello. La discrepanza tra la fenomenologia del tempo – cioè del tempo sentito e vissuto – e il tempo oggettivo e misurabile dei meccanismi nervosi che lo creano è una delle realtà dell'esistenza di cui non si ha coscienza.

Della duplicità della realtà del tempo (di quello vissuto e di quello misurato dagli orologi) si ebbe la prima prova a metà Ottocento grazie alle ricerche di Hermann von Helmholtz sulla stimolazione dei muscoli delle zampe delle rane. Il dato era così estraneo non solo al sentire comune, ma anche ai criteri della scienza, che ci volle del bello e del buono per farlo accettare come evento provato e memorabile.

"È una scoperta così notevole che parla da sola, per la sorpresa che suscita",[1] si complimentò, dopo un iniziale e infastidito rifiuto, il 12 febbraio 1850, la *éminence grise* della scienza tedesca Alexander von Humboldt con l'allievo della leggendaria scuola fisiologica berlinese di Johannes Müller, il giovanissimo fisiologo di Königsberg Hermann von Helmholtz (aveva 28 anni), che diventerà una delle più fervide menti scientifiche del XIX secolo.[2]

Da Königsberg, dov'era ordinario di Fisiologia alla prestigiosa Università "Albertina", attraverso la mediazione dell'a-

mico e collega Emil du Bois-Reymond (altro colosso della fisiologia, già allora autore di un poderoso studio in due volumi sull'elettricità animale),[3] von Helmholtz aveva fatto pervenire a von Humboldt, a Berlino, la descrizione di una ricerca iniziata alla fine del 1849. A quel tempo era opinione indiscussa che la contrazione di un muscolo avvenisse simultaneamente alla stimolazione elettrica del nervo motorio, senza latenza misurabile, grazie – sosteneva Johannes Müller – a un "principio nervoso imponderabile" di sapore metafisico e vitalistico.[4] Il trasferimento di uno stimolo all'interno del sistema nervoso era considerato così rapido da non avere, a differenza di altri eventi naturali, latenze apprezzabili. "Ho potuto constatare", scrive invece von Helmholtz, "che, irritando alternativamente la parte superiore e quella inferiore del nervo [cioè l'estremità più lontana e quella più vicina al muscolo innervato], la contrazione si verifica nel primo caso un po' più tardi che nel secondo."[5]

La conduzione nervosa era un fenomeno fisico quantificabile. La scoperta venne accolta con scetticismo: von Humboldt, all'inizio, si rifiutò di presentare la comunicazione all'Accademia delle Scienze di Parigi.[6] Emil du Bois-Reymond scrisse al giovane collega, "con orgoglio e tristezza", che a Berlino il suo lavoro era stato apprezzato solo da lui. Poco dopo, però, Johannes Müller ne diventò un convinto ammiratore.

Assistito dalla moglie Olga, usando un galvanometro perfezionato da du Bois-Reymond,[7] von Helmholtz stimolava il nervo del muscolo gastrocnemio di rana preparato per dissezione e registrava la risposta muscolare. Fra la stimolazione nervosa e la contrazione muscolare passava "un tempo misurabile",[8] durante il quale lo stimolo nervoso, lungo un nervo di 50-60 millimetri, trasmetteva al polpaccio della rana lo stimolo a contrarsi. La velocità era più lenta a basse temperature. Ciò lasciava sospettare che l'evento fosse, parzialmente, di natura chimica, supposizione confermata più tardi.

Già l'anno prima, von Helmholtz aveva osservato che il muscolo, dopo la stimolazione, si contrae non di colpo ma gradualmente e poi si rilascia lentamente. Fra la stimolazione elettrica del nervo e la contrazione muscolare trascorre un tempo di cui

lo sperimentatore non ha coscienza, perché i due eventi sembrano simultanei.[9] In una comunicazione del 1851, in francese, all'Accademia delle Scienze di Parigi, chiamò la latenza fra stimolo nervoso e contrazione *temps perdu*, impiegato dallo stimolo a percorrere il tratto dentro il nervo fino al muscolo.[10] Più lontano l'elettrodo dal muscolo, cioè più lungo il nervo, più lungo il *temps perdu*. Calcolò la velocità dello stimolo, 26,4 metri al secondo nella rana e nell'uomo, smentendo l'opinione comune che la corrente nervosa fosse veloce come la luce e quindi non misurabile, facendo apparire erroneamente stimolo e contrazione simultanei.[11] La corrente nervosa era invece un fenomeno fisico quantificabile, circa dieci volte più lenta del suono e infinitamente più lenta della luce. Lo stimolo nervoso sembra velocissimo solo perché copre distanze brevi. C'era poi un'altra frazione, di un centesimo di secondo, fra l'arrivo dello stimolo e la risposta muscolare, che von Helmholtz spiegò con fenomeni chimici della contrazione, sensibili alla temperatura. L'elettricità faceva partire lo stimolo dentro il nervo, ma uno stimolo così lento non poteva essere una corrente elettrica. Helmholtz lo chiamò *Fortpflanzung der Nervenreizung*, cioè *avanzamento progressivo dello stimolo nervoso*, e lo paragonò alla combustione di una sostanza esplosiva in un tubo.

In una lettera al padre, scettico sulle scoperte del figlio, chiariva che la *Fortpflanzung* "è dieci volte più lenta del suono", ma la sua durata è comunque così breve da sfuggirci, perché la massima velocità che possiamo percepire dipende dal modo in cui lavora il nostro sistema nervoso.

Scoprì poi l'intervallo di un decimo di secondo, necessario – pensava – ai fenomeni molecolari, fra l'arrivo di un'informazione al cervello e l'elaborazione dell'impulso a muovere un muscolo. Anche questo era un *temps perdu*. Fortunatamente – dirà in una conferenza – cervello e periferia sono vicini fra loro, e… povera balena, che per accorgersi di una ferita nella coda ha bisogno di un secondo, e di un altro secondo per reagire.[12] Allora non si conosceva la reazione riflessa – cioè inconsapevole, anche se spesso molto elaborata – allo stimolo, non solo doloroso, prima che lo stimolo diventi cosciente.[13]

Calcolò che il tempo fra uno stimolo visivo e la percezione, cioè la coscienza di ciò che si vede, è un *temps perdu* di circa un trentesimo di secondo, incostante perché dipende da ciò che si vede e dall'attenzione che vi si presta. Scrisse al padre che i pensieri non sono "veloci come il vento" come si credeva. Anticipò quel che avrebbe sostenuto Benjamin Libet, che la latenza dei meccanismi nervosi ci fa vivere nel passato.

Helmholtz dimostrò il ruolo fondamentale che il tempo e la flessibilità con la quale il cervello lo impiega svolgono nella percezione del mondo e nell'attività mentale. Inoltre, corroborò la visione meccanicistica degli eventi della natura e, quindi, anche la riduzione della coscienza a meccanismi fisicochimici del cervello.

Lo scienziato ed epistemologo Ernst Mach – che sul senso del tempo ha scritto tre saggi (uno con particolare riferimento alla percezione musicale, un altro per rafforzare l'opinione secondo cui "non c'è dubbio che il nostro modo di concepire lo spazio e il tempo è dovuto alla nostra organizzazione biologica") – racconta che, seduto nello studio accanto al laboratorio dove si facevano esperimenti con esplosivi, regolarmente trasaliva spaventato *prima* di sentire la detonazione.[14] Trasaliva e si spaventava prima di divenire cosciente di quel che era avvenuto, perché i meccanismi della coscienza impiegano più tempo per elaborare l'informazione di quelli della paura e del trasalimento, come sarà poi dimostrato da Joseph LeDoux.[15] Mach si rese conto, anche se non ne parla esplicitamente, dell'insopprimibile ritardo della coscienza rispetto agli eventi che ne sono il contenuto.

Un suo allievo, il poeta Hugo von Hofmannsthal, in una lettera fittizia del 1902, immagina che Lord Chandos cerchi di spiegare all'amico filosofo Francis Bacon che la sua rinuncia all'attività letteraria sia dovuta all'incapacità di "pensare e parlare in maniera coerente di qualunque cosa", perché tutto gli appare "inverificabile, falso, pieno di buchi"[16] per la perdita del presente, che avverte come dolorosamente artificiale.[17]

Nel 1873 il fisiologo francese Étienne-Jules Marey, professore a Parigi, estimatore di von Helmholtz, nello studio *La machine animale* fa due volte ampi riferimenti positivi al *temps*

perdu di von Helmholtz, che paragona al tempo fra la spedizione e l'arrivo di una lettera. Ne fa cenno anche in uno studio del 1875 sulla fisiologia del cuore.

Perché *perdu*? Che cosa intendeva von Helmholtz? Il tempo che il nervo impiega per fare il suo lavoro è perso? È verosimile che intendesse *perdu* per la coscienza, perché scorre senza che ce ne accorgiamo. Oggi, conoscendo meglio i meccanismi nervosi, si parla di tempo "compresso", non perduto del tutto, sottratto comunque alla coscienza e quindi alla memoria. Grazie alla scoperta di von Helmholtz, si sa che esiste un tempo che il cervello manipola e distorce prima di trasmetterlo alla coscienza e che una parte del tempo è *perdu* perché la coscienza non ne è informata. Il cervello può distorcere il tempo solo perché lo crea: questa è una delle conoscenze che derivano dai lavori di von Helmholtz. Un'altra è che la mente è tutt'altro che ineffabile: è un soggetto da sottoporre a osservazioni e controlli sperimentali, dai quali possono venire – come il *temps perdu* – dati inattesi.

Dopo von Helmholtz, i neurofisiologi che si occuparono del tempo riuscirono ad avvertire l'elusività e l'unicità del senso del tempo, diverso da ogni altro rapporto della coscienza con il mondo e con se stessa. Da quei primi passi fu anche evidente che quanto ci appare come presente è già passato, anche se solo di una frazione di secondo, per lo stesso meccanismo naturale per cui, quando guardiamo una stella, gettiamo lo sguardo in un passato di milioni di anni.

Marcel Proust chiamò la sua epopea *À la recherche du temps perdu*. Suo padre, Achille Adrien, era un eminente medico esperto di colera, professore alla facoltà di Medicina e membro, come Étienne-Jules Marey, dell'Académie de Médecine. Non c'è prova, ma non è inverosimile che quell'espressione insolita gli sia giunta dal padre.[18]

GLI ESPERIMENTI DI BENJAMIN LIBET[19]

Studi sistematici sulla distorsione del tempo a opera dei meccanismi nervosi che trasmettono segnali alla coscienza fu-

rono condotti, a partire dalla metà degli anni Sessanta del Novecento, dal neurofisiologo dell'Università di San Francisco Benjamin Libet, che divenne famoso in quanto diede avvio allo studio sperimentale dei meccanismi nervosi della volontà. Per aver messo in dubbio sperimentalmente la libertà dell'arbitrio e, quindi, la responsabilità, egli rappresentò da allora la pecora nera di molti filosofi.

Durante operazioni stereotassiche al cervello in anestesia locale in pazienti con la malattia di Parkinson o per trattare dolori altrimenti intrattabili, Libet stimolò elettricamente la corteccia cerebrale somatosensoriale della mano della parte opposta (le vie della sensibilità sono incrociate) nel giro postcentrale del lobo parietale.[20] La stimolazione elettrica dei neuroni dell'area corticale della sensibilità della mano non è avvertita nel cervello (che non ha terminazioni nervose della sensibilità), ma, dopo circa mezzo secondo di stimolazione, come strappo o fitta nella mano. Se la stimolazione dura meno di mezzo secondo, non si avverte nulla. Tanto è il tempo necessario alla corteccia cerebrale per elaborare uno stimolo cosciente. Se lo stimolo elettrico è debole, si registra l'attivazione della corteccia senza che il paziente avverta fitte o strappi, cioè senza che ne divenga cosciente. La stimolazione elettrica più forte aumenta l'attività dei neuroni, ma non abbrevia il tempo necessario per diventarne coscienti. Il tempo per attivare la coscienza non dipende dalla frequenza o dal numero degli impulsi elettrici, ma dalla loro durata. "Le osservazioni più interessanti degli esperimenti con la stimolazione cerebrale", scrisse Libet nel 1966,[21] "sono che, per ottenere una sensazione somatica, non è sufficiente la ripetizione dell'impulso liminale, ma occorre che la ripetizione prosegua per circa mezzo secondo affinché diventi efficace. [...] Se lo stimolo liminale è ripetuto per un tempo inferiore alla soglia d'efficacia, la persona non avvertirà nulla." La struttura della corteccia può accorciare il tempo della stimolazione: in pazienti con focolai epilettici nelle aree somatosensoriali e visive primarie – dove si presume un'eccitabilità corticale aumentata – la latenza può accorciarsi fino a un quarto di secondo.[22]

Se mezzo secondo è il tempo indispensabile per diventare coscienti di una stimolazione portata alla corteccia cerebrale, come si spiega che se siamo toccati o se tocchiamo qualcosa ne siamo immediatamente coscienti, senza latenza, anche se, per diventare cosciente, la stimolazione nervosa che parte dalla pelle deve essere elaborata nell'area somatosensoriale? Come può un evento essere simultaneo alla coscienza che se ne ha, se i meccanismi nervosi devono lavorare circa mezzo secondo per elaborare gli stimoli fino a renderli coscienti?

Se la mano (o qualunque parte del corpo) è toccata anche molto lievemente, o se con un dito tocchiamo una superficie, l'area somatosensoriale dell'emisfero controlaterale corrispondente all'organo che tocca o è toccato si attiva con i potenziali evocati dallo stimolo periferico dopo 14-20 millisecondi, se lo stimolo proviene dalla mano, e dopo 40-50 millisecondi se proviene dal piede. I potenziali evocati, la cui ampiezza dipende dalla forza della stimolazione periferica, sono diversi dall'attività corticale prodotta stimolando direttamente la corteccia con deboli e innocue scariche elettriche. L'area della coscienza – che, oggi si sa, comprende gran parte della corteccia cerebrale e parte delle strutture sottocorticali – è attiva dopo circa mezzo secondo: il tempo registrato con la stimolazione corticale. È una lunga latenza, di cui non si è coscienti perché l'essere toccati e la consapevolezza dell'evento sono apparentemente simultanei, anche se si è toccati in aree diversamente distanti dal cervello, come la mano e il piede.

Il cervello non trasmette ai meccanismi della coscienza il mezzo secondo per elaborare lo stimolo proveniente dalla periferia fino a renderlo cosciente, né la differenza fra mano e piede. Come avvenga la compressione del tempo (di cui si parla nel capitolo 8) che condiziona l'esistenza non è chiaro, anche se sono state individuate molte (o forse tutte) le aree cerebrali in cui essa avviene. Se, contemporaneamente al toccamento della mano (o del piede o di qualunque altra parte del corpo), si stimola elettricamente la sua area nella corteccia somatosensoriale, il toccamento della mano è avvertito prima della fitta della stimolazione elettrica corticale, perché, a differenza del

tempo della stimolazione diretta della corteccia, il tempo della stimolazione dalla mano al cervello è compresso.

La manipolazione continua del senso del tempo a opera del cervello conferma che il tempo è da esso prodotto, che non è una percezione del mondo esterno, e che è reale.

Si tornerà a parlare delle ricerche di Libet nel capitolo 8.

5

CHE COS'È IL TEMPO?

> Il tempo è quel che succede quando non succede niente [...]. È realmente importante non come *definiamo* il tempo, ma come lo misuriamo.
>
> RICHARD FEYNMAN[1]

È importante come misuriamo il tempo, dice Richard Feynman, non come lo definiamo. Feynman afferma che possiamo sentire il tempo trascorrere senza che accada nulla.[2] Possiamo sentire una durata vuota di eventi. Anche se non possiamo definire, toccare né vedere il tempo, e anche senza che ci sia necessariamente qualcosa da ordinare in esso, possiamo cercare di capire quali siano i meccanismi nervosi che fanno del senso del tempo una categoria fondamentale della coscienza. Trattare il tempo senza riferirsi ai meccanismi nervosi della coscienza, come piace a fisici e filosofi,[3] è un'impresa disperata. Il sociologo Norbert Elias si chiedeva come si potesse misurare una cosa che non è percepita dagli organi di senso. "Chi ha mai visto un'ora?", si chiedeva.[4] Non si vede e non c'è bisogno di vederla, perché l'ora è prodotta dai meccanismi del cervello che la trasmettono alla coscienza. La realtà del tempo è lì.

Il tempo è formato (e non percepito) da meccanismi nervosi trasmessi geneticamente da una generazione all'altra. Il senso del tempo, la cui rappresentazione è uno degli enigmi della mente, ha tre aspetti: la stima della durata, dell'attesa e dell'ordine di successione degli eventi. L'ippocampo svolge un ruolo chiave non solo per lo spazio e per la memoria, ma anche per

il senso del tempo, insieme con l'area motoria supplementare, parte della corteccia prefrontale e parietale, i gangli della base, il cervelletto.[5] L'area motoria supplementare e i gangli della base, organi dell'azione motoria, sono attivi anche in processi temporali senza movimenti. La corteccia parietale sinistra, valendosi della memoria di informazioni precedenti, genera un'attesa della durata degli eventi futuri, mentre la corteccia prefrontale destra utilizza informazioni retroattive per valutare se il tempo che passa coincida con quello previsto.[6] Negli ultimi anni, un contributo alla localizzazione e alla comprensione del senso del tempo viene dallo studio clinico dei suoi disturbi in pazienti con lesioni del cervello.[7]

Il tempo e le sue manipolazioni a opera del cervello (quasi sempre opportune, perché senza queste la realtà sarebbe verosimilmente meno gradevole) sono parte fondamentale di ogni momento dell'esistenza degli esseri viventi con senso del tempo. La domanda "che cos'è il tempo?" rischia sempre di finire nella tautologia che il tempo è il tempo, ma oggi, con i dati delle neuroscienze cognitive, l'approssimazione alla natura, e quindi alla realtà del tempo, non è più impossibile. È quantomeno risolto il dubbio se il tempo sia una caratteristica dell'Universo che noi percepiamo oppure un'impalcatura dei meccanismi cerebrali nei quali è inserita la realtà, anche quella della vita mentale.

Galileo Galilei – per secoli unico fra scienziati e filosofi –, in pagine mirabili del *Saggiatore*, che hanno anticipato i fondamenti della scienza di due secoli, ha sostenuto il ruolo centrale dei meccanismi innati della conoscenza, anche se non disponeva dell'evidenza sperimentale. Di fuori c'è il mondo, ma

> tolti via gli orecchi e le lingue e i nasi, restino bene le figure i numeri e i moti, ma non già gli odori né i sapori né i suoni, li quali fuor dell'animal vivente non credo che siano altro che nomi. [...Che] sia nel fuoco altra qualità, e che questa sia caldo, io non lo credo [...]; e stimo che questo sia talmente nostro, che, rimosso il corpo animato e sensitivo, il calore non resti altro che un semplice vocabolo. [...] Io vo pensando che questi sapori, odori, colori, etc. [...] non sieno altro che puri nomi, ma

> tengano solamente loro residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale, sieno levate e annichilate tutte queste qualità.[8]

La conoscenza è possibile solo se e quando i meccanismi cognitivi del "corpo sensitivo" funzionano, e la realtà in cui viviamo è quella dei dati e dell'esperienza che quei meccanismi forniscono alla coscienza. "Non c'è alcunché nell'Universo cui possiamo accedere senza prima filtrarlo attraverso i labirintici grumi di materia grigia della nostra testa. [...] Tutto ciò che appare come esterno in verità è dentro di noi. Sotto ogni aspetto, non c'è alcun esterno", scrive una fisica che crede al tempo.[9] Galileo non fa cenno al tempo, ma anch'esso, rimosso il cervello (e il sistema nervoso degli animali con senso del tempo) sarebbe "annichilato", come tutti i contenuti della coscienza. Il senso del tempo va cercato nel "corpo sensitivo", cioè – oggi sappiamo – nel cervello.

Il tempo è diventato parte della fenomenologia della vita da quando i meccanismi nervosi presero a trasmetterlo a quelli della coscienza. La discussione del prima e del dopo il tempo è sterile: il tempo sul quale l'umanità autocosciente può riflettere esiste da quando il cervello lo forma come dimensione della vita e dell'Universo. I meccanismi nervosi lo trasmettono da una generazione all'altra e lo rendono cosciente all'incirca nel terzo anno di vita, insieme alla memoria, che del tempo è una delle basi.

Per il neuropsicologo Ernst Pöppel, il tempo potrebbe essere troppo complicato per i meccanismi cognitivi che lo indagano e si rischia di semplificare un problema tutt'altro che semplice. Ogni tentativo – dice Pöppel – non può che rimanere un esercizio mentale.[10] Ciò vale, in realtà, per tutte le indagini sulla coscienza e sulla natura, rispetto alle quali già Francis Bacon ammoniva che non possono portare a dati definitivi.

Seguendo la fenomenologia dell'esperienza temporale e cercandone le basi anatomiche e i meccanismi nervosi, ci si avvicina al tempo, con la conferma che un evento cerebrale di quella natura e rilievo, che fornisce alla coscienza una delle dimensioni fondamentali dell'esistenza, è reale. Il tempo di cui siamo co-

scienti e quello che, pur condizionando l'esistenza, rimane inavvertito – come il senso del tempo durante il sonno e il tempo compresso (di cui si parla nel capitolo 8) – dipendono da meccanismi nervosi diffusi in tutto l'encefalo, in particolare quelli della memoria, dell'attenzione e del sistema limbico dell'affettività, nonché dallo stato fisico e ormonale.

Il senso del tempo è una realtà variabile, onnipresente, relativamente poco prevedibile, individuale come lo sono struttura e funzionamento di ogni cervello. Esso si realizza in diverse scale correlate ai molti meccanismi nervosi selezionati e in grado di elaborarle.[11] È una dimensione senza la quale la vita è inimmaginabile. Una lesione cerebrale può spegnere temporaneamente o per sempre il senso del tempo (la *timeless life* degli autori anglofoni). Chi conosce questi pazienti può farsi un'idea di che cosa sia la vita senza la dimensione temporale. Una condizione di breve durata che la lascia intravedere è quella del paziente che si sveglia dopo una narcosi e che chiede quando l'operazione comincerà o se sia già finita, senza nessuna idea di quanto tempo sia durata.

Il senso del tempo è essenziale perché rende possibile il comportamento e la sopravvivenza di tutti gli esseri viventi dotati di sistema nervoso, anche se minuscolo (se ne parla nel capitolo 9). Negli esseri umani, il ruolo preminente di coordinatore nell'organizzazione temporale del comportamento sarebbe svolto dalla corteccia prefrontale. Essa è anche la sede della memoria, essenziale per il senso del tempo. Uno dei sintomi di lesione nella corteccia prefrontale è la difficoltà, fino all'incapacità, dell'orientamento temporale, di scegliere e pianificare il comportamento.[12] Lo stesso in caso di lesione frontale nelle scimmie.[13]

Il senso del tempo è un intreccio flessibile e variabile di razionalità, memoria, senso del corpo e affettività.[14] Nonostante il ruolo centrale che esso svolge nell'esistenza, la base nervosa per l'elaborazione degli intervalli e il senso della durata sono ancora sostanzialmente congetturali.[15]

Il tempo non è percepito come avviene con un suono, un colore o un dolore, e non è riferito al mondo esterno. È creato

nel cervello, senza che al suo interno esista un organo centrale e circoscritto del senso del tempo. Per questo il senso del tempo, unico fra le sensazioni, è presente come tempo oggettivo e soggettivo (con la componente emotiva) in tutte le esperienze sensoriali.[16]

Le indagini sul tempo sono indispensabili per comprendere i meccanismi della coscienza e la struttura nervosa in virtù della quale percepiamo la natura e ci ragioniamo sopra. Infine, una difficoltà generale del senso del tempo; una delle tante, quando si trattano i contenuti della coscienza: se stimate che un minuto sia durato 50 secondi, il senso del tempo è accelerato o rallentato rispetto a quello segnato dall'orologio? La risposta, per molte persone, non è immediata: il senso del tempo, in questo caso, è accelerato. Se un minuto ci sembra durare 80 o 90 secondi vuol dire che il senso del tempo è rallentato rispetto al tempo oggettivo degli orologi. Se siamo fermi al rosso del semaforo e abbiamo fretta, il tempo è rallentato, sembra che non passi mai. Se non abbiamo fretta, lo scorrere del tempo è indifferente. Se passiamo un'oretta in una lettura appassionante, il tempo sembra volare. Nei casi di durata normale, abbreviata o allungata, i meccanismi nervosi del senso del tempo lavorano diversamente, comunicando alla coscienza un senso del tempo determinato spesso dall'emotività, che diventa una durata più o meno lunga nel caso della frenesia o della noia. L'esperienza del tempo è creata dal cervello – con il concorso di meccanismi della memoria, della concentrazione e della riflessione, delle emozioni[17] e del senso dello spazio –, oltre che dalla sequenza degli eventi. È consigliabile prudenza nel valutare l'aspetto emotivo del senso del tempo. Si parla dell'arroganza di chi è regolarmente ritardatario, come se si sentisse signore del tempo suo e di chi lo aspetta. Non è sempre così: un mio giovane paziente, dopo l'asportazione di un tumore benigno di media grandezza dall'emisfero destro del cervelletto, non era più capace di essere puntuale per un difetto del senso della durata.[18]

Che il tempo non sia una proprietà del mondo empirico è suggerito anche dal fatto che non c'è un linguaggio specifico

per riferirsi a esso: per parlare del tempo si usano, di regola, riferimenti al mondo fisico e allo spazio. La relazione metaforica fra spazio e tempo, nel linguaggio, non è solo linguistica, ma esiste nella elaborazione nervosa di distanza e durata.[19]

6

LA REALTÀ DEL TEMPO

GT, PT E TIMING[1]

"Il tempo", per lo psicologo Robert E. Ornstein, "è una delle rappresentazioni continue, universali e obbligate della vita, una delle filiere primarie di cui è intrecciata la nostra esperienza."[2]

La realtà del tempo ha due aspetti, differenti perché i meccanismi nervosi che li creano sono, almeno parzialmente, diversi. Uno è il tempo segnato dagli orologi. Gli orologi marcano un tempo uguale per tutti, oggettivo. Nella letteratura scientifica anglofona questo tempo è indicato a volte con GT, cioè *government time*, tempo dell'ordinamento istituzionale e sociale. Per Einstein, ogni fenomeno fisico ripetitivo che segnali l'intervallo fra due eventi può essere usato per "rendere oggettivo il concetto di tempo",[3] cioè il GT. Il GT è prodotto dal cervello. Il movimento delle lancette o le cifre sul quadrante acquistano significato quando sono viste da un osservatore il cui cervello collega i movimenti delle lancette e le cifre del quadrante al meccanismo che ha in testa e che è stato all'origine della misurazione strumentale e oggettiva del tempo.[4]

Il *personal time*, il tempo personale (PT), inevitabilmente variabile,[5] è il tempo fenomenologico della vita e della successione dei ricordi, ordinati temporalmente nei centri nervosi della memoria. L'esperienza del PT è determinata dall'attenzione agli eventi, dalle emozioni, dall'affettività e dallo stato d'animo.[6] A differenza del GT, registrato dagli orologi, alla fenomenologia del tempo contribuiscono in misura determinante le aree delle emozioni.

Il PT, il tempo soggettivo e personale, è un sistema aperto; il GT, il tempo oggettivo degli orologi, è un sistema rigido scandito da una macchina creata dai centri cerebrali della razionalità per disporre di una dimensione universale e vincolante del tempo.

Se l'attenzione non è concentrata sul tempo che passa, ma su altri eventi, la durata soggettiva è più breve.[7] Le emozioni lo allungano e, talvolta, lo accorciano.[8] Suoni carichi di emozioni gradevoli e sgradevoli sentiti per 2, 4 e 6 secondi allungano il tempo, ancora di più se sgradevoli.[9] I 45 secondi durante i quali trentacinque persone con aracnofobia guardavano alcuni ragni chiusi in una bottiglia erano sentiti come se fossero stati da 51 a 60.[10] Il tempo durante il quale si guarda un volto con espressione adirata e sgradevole è più lungo, mentre se si osserva una faccia felice il tempo soggettivo è di poco inferiore o uguale a quello oggettivo. Ciò viene attribuito al vantaggio di considerare più a lungo una possibile minaccia.[11] Se si ascolta una conferenza interessante, il PT è più breve del GT. Se la conferenza è una gran noia, il PT è più lungo (a volte molto più lungo) del GT. A un gruppo di studenti venne fatto ascoltare per un minuto un brano di una novella di Henry Miller con spunti erotici, a un altro pagine da un libro di neurologia dei nervi cranici. Il passo di Miller era sentito come parecchio più breve.[12]

Il tempo soggettivo, diceva ancora Einstein, a conferma dell'insicurezza sull'inesistenza del tempo, "è il senso primordiale del flusso del tempo, che ci consente di mettere ordine nelle nostre impressioni, così che possiamo dire quale di due cose è avvenuta prima dell'altra".[13] È talmente soggettivo, e variabile a seconda delle circostanze, da rendere indispensabile il GT, senza il quale l'irregolarità del PT e la mancata puntualità renderebbero la convivenza caotica. Il GT è un dato, ancorché creato dal cervello, il PT è un'esperienza.[14] Il GT è elaborato, verosimilmente, soprattutto dall'emisfero cerebrale sinistro, il PT da quello destro.

Della realtà del tempo fa parte la sua unidirezionalità, sulla quale tanto si è scritto. Il cervello ha creato il tempo unidirezionale perché così è la realtà da ordinare, compresa la propria intrinseca natura: niente torna indietro, i viaggi nel tempo sono creazioni letterarie e fantasie.[15] Gli eventi che si ripetono, come albe e tramonti, non sono mai gli stessi. Anche se elusiva, la realtà del tempo è la più reale del mondo perché senza di essa non ci sarebbe la vita. Il cervello inserisce nel tempo anche eventi remotissimi: si presume, per esempio, che il Big Bang sia avvenuto circa quattordici miliardi di anni fa. È un periodo calcolato secondo la dimensione che diamo oggi al tempo oggettivo.

TEMPO E LINGUAGGIO

Senza il senso della successione temporale non sarebbe possibile la sequenza delle lettere e delle parole del linguaggio, né sarebbe possibile la musica. I fenomeni sensori e motori e il linguaggio hanno una caratterizzazione temporale che si estende dall'ordine dei millisecondi fino a quello delle ore o settimane. La forma più complessa del tempo è la strutturazione in millisecondi del linguaggio parlato e della coordinazione motoria fine: per esempio, suonare uno strumento.[16] I tempi dei verbi presuppongono il senso del tempo.

Il linguaggio e il senso del tempo sono universali e corrispondono a un'esigenza biologica della specie. Il linguaggio, peculiare alla specie umana[17] (tutti gli animali comunicano, non parlano), è un vero e proprio organo mentale, e il tempo è parte essenziale della sua struttura portante.

Lo sviluppo del senso del tempo avviene con lo sviluppo della capacità di camminare e del linguaggio nonché delle esperienze che trasmettono il senso dello scorrere del tempo.[18] Entro il diciottesimo mese di vita, il bambino acquista la consapevolezza del presente, dell'"adesso"; dai 18 ai 42 mesi, il senso di prima-adesso-dopo; verso i 30 mesi, il senso del futuro. La parola "domani" compare prima di "ieri", perché quest'ultima comporta la memoria, che diventa cosciente a 30-32 mesi. La riflessione astratta sul tempo è possibile dai 10-12 anni.[19]

Nel linguaggio parlato, le sillabe sono create ogni 200-400 millisecondi. Oltre all'informazione lessicale e sintattica, la prosodia – cioè il ritmo, le pause, il tempo e il tono del discorso – modula il contenuto e trasmette lo stato emotivo di chi parla. Il collegamento dei meccanismi del parlare con quelli della pressione sanguigna e della respirazione rende l'espressione parlata molto sensibile alle emozioni.[20] Un discorso tenuto in un momento felice è più veloce dello stesso discorso pronunciato in un momento di apprensione o di tristezza, che rallentano il tempo. Il senso del tempo, anche in queste circostanze, riflette lo stato mentale dell'individuo. La durata degli intervalli – cioè del silenzio – fra parole e fra sillabe è determinante per attribuire nomi, aggettivi, verbi, proverbi e quant'altro si dica alle varie componenti di una frase, e quindi per capire quel che si sente.[21]

Per il linguaggio, l'elaborazione temporale in decimi o centesimi di secondo (verosimilmente la più complessa organizzazione organica temporale in natura) è fondamentale.[22] La percezione – vale a dire la comprensione – di ciò che sentiamo dire è indipendente dalla velocità – variabile di circa due volte in un senso o nell'altro – con cui il discorso è pronunciato. Le parole pronunciate in fretta arrivano prima di quelle pronunciate lentamente ai centri frontotemporali del linguaggio, mentre alla coscienza arriva un messaggio verbale stabile e omogeneo. Non si ha l'impressione che, per capire le parole pronunciate lentamente, ci voglia più tempo di quelle pronunciate in fretta, anche se lo stimolo del discorso lento impiega più tempo per arrivare al cervello. La comprensione è invariata anche a velocità doppia. La distorsione temporale a favore della gradevole omogeneità della percezione sarebbe dovuta, nel linguaggio e in altri eventi analoghi (per esempio in movimenti molto fini), alla modulazione della trasmissione dello stimolo nelle sinapsi.[23]

Mentre la comprensione della componente sintattica e semantica dell'informazione è dovuta principalmente alle aree frontotemporali dell'emisfero sinistro, oltre che ai gangli della base e al cervelletto, la localizzazione della prosodia è incerta. Essa sarebbe elaborata principalmente dai circuiti corticali e

da quelli sottocorticali del corpo striato, coinvolti anche nella strutturazione temporale di eventi non linguistici. Espressioni prosodiche brevi (di una o due sillabe) sarebbero elaborate dall'emisfero sinistro; quelle che regolano un'intera frase e oltre da quello destro.[24]

Il linguaggio si forma e si comprende con le strutture nervose del senso del tempo.[25] Il parlare non sembra essere una funzione che si sviluppa indipendentemente dalle altre, bensì una funzione che si forma e cresce con altri processi cognitivi. Ne sono la prova le aree comuni della comprensione semantica e della prosodia.[26]

A un disturbo della elaborazione temporale del linguaggio ascoltato e scritto sono riportati casi di dislessia. Leggere non è solo un'abilità visiva, ma anche linguistica, con la componente fonologica della conversione dei simboli visuali in suoni. A differenza degli afasici, i dislessici parlano e capiscono il linguaggio parlato senza difficoltà, ma hanno difficoltà a leggere, a sillabare e a scrivere ciò che sentono. Leggere richiede l'integrazione di processi visivi, cognitivi, linguistici e dell'attenzione, la cui fusione in un unico evento presuppone una coordinazione complessa di vari meccanismi nervosi. La dislessia non è un'afasia, cioè un disturbo della formazione e della comprensione delle parole, bensì un insufficiente coordinamento fra il tempo della lettura e il tempo più lungo, non compresso, dell'attivazione delle aree motorie dei muscoli per parlare e per scrivere. La causa, in molti casi, sarebbe una ridotta attivazione dei lobi temporale, parietale e fusiforme dell'emisfero sinistro.[27]

In un bambino dislessico per disturbo della fonologia, la risonanza magnetica mostrò un deficit di attivazione del lobo temporale sinistro; in un altro, un deficit d'attivazione parietale bilaterale.[28] Nel leggere, scrivere e sillabare, i dislessici hanno difficoltà a collegare suoni e segni del linguaggio con lettere e parole. Ciò potrebbe essere dovuto al difetto di coordinazione da parte del cervello dei tempi delle percezioni visive e acustiche e del loro collegamento con le aree del linguaggio e della coscienza.[29]

Ogni sensibilità ha un tempo diverso e la loro coordinazione è una delle funzioni principali dei meccanismi del tempo. Se ne parla nel capitolo 8.

TEMPO E MUSICA

La musica, secondo un'antica ripartizione, è un'arte del tempo e non dello spazio (come l'architettura, la scultura, la pittura). È un assetto artistico del tempo, un ordinamento temporale dei suoi momenti, non nel senso che la musicalità dipende da una temporalità di meccanismi nervosi cui deve sottostare, ma perché ogni opera musicale stabilisce il tempo, cioè il ritmo, che è parte fondamentale dell'emozione che trasmette. La musica, per il neuroscienziato Jean-Pierre Changeux, "trasfigura il tempo che scorre attraverso la delicata alchimia che si genera tra ritmo, melodia e armonia".[30]

Ogni opera d'arte musicale è un sistema "di regole per stabilire il tempo. [...] La musica ha il tempo in sé".[31] Il quarto tempo della *Nona Sinfonia* di Gustav Mahler, *sehr langsam und noch zurückhaltend, molto lento e trattenuto*, come il compositore aveva notato nella partitura, è diverso se suonato in 28 minuti con la direzione di Claudio Abbado o in 15 minuti con quella di Bruno Walter. Dopo aver evocato i tumulti della vita, nella trattenuta esecuzione dei lunghi tempi di Abbado essa trasmette lo struggimento, la malinconia, i rimpianti, la tristezza riflessiva del presagio della fine. La musica si spegne lentamente; suonano sempre meno strumenti, fino a due soli violini, sempre più tenui. È il quasi niente, infine il lungo tempo del silenzio, il cui suono è parte della musica.[32] L'emozione, anch'essa assai forte, della direzione di Bruno Walter è diversa perché la stessa partitura è suonata con un altro tempo.

Lentezza e velocità – che sono dimensioni temporali – sono fra le caratteristiche più importanti delle esecuzioni musicali. Se non si parte con il tempo giusto – ammonisce il direttore d'orchestra Riccardo Chailly – tutto il movimento procede con il tempo sbagliato, e porta come esempio la *Rheinische Symphonie* di Schumann e la *Terza Sinfonia* di Brahms.[33]

La musica ha un effetto benefico sui meccanismi nervosi del senso del tempo, la cui efficienza nel distinguere e tenere separati i componenti di uno stimolo cala con l'età: nei cervelli dei musicisti, allenati dalla complessità degli stimoli musicali, il rallentamento non avviene. In poche altre occupazioni tante persone avanti negli anni sono capaci delle prestazioni, spesso eccezionali, di molti musicisti.[34]

7

I PROCESSI NERVOSI DEL SENSO DEL TEMPO

Il tempo non si percepisce come evento del mondo esterno. Il tempo si sente come evento della coscienza di sé e del mondo. Si sente e non si percepisce perché è creato da meccanismi nervosi indipendenti dall'esperienza: si sente il tempo anche senza eventi mentali o esterni. Nel 1951 lo psicologo Karl Spencer Lashley anticipò quanto le visualizzazioni del cervello in attività hanno mostrato negli ultimi anni:

> L'informazione in arrivo non agisce mai su un sistema statico o quiescente, ma sempre su un sistema già attivo e organizzato. [...] La coordinazione dei movimenti delle gambe, il suono degli uccelli, il trotto e l'andare al passo del cavallo, la corsa del ratto nel labirinto, l'architetto che progetta una casa e il carpentiere che sega un'asse pongono il problema delle sequenze dell'azione, inspiegabile nei termini della successione di stimoli esterni. [...] Il comportamento di un organismo sano è il risultato dell'interazione fra il sistema attivo e l'informazione fornita da ogni stimolo definito. Solo quando potremo specificare le caratteristiche generali dell'attività nervosa potremo capire l'effetto di un'informazione.[1]

L'attività del cervello, verosimilmente casuale a seconda dell'energia a disposizione, è continua e l'elaborazione dell'informazione fino alla coscienza dipende dai meccanismi attivi in quel momento.[2] L'esperienza è inserita nel traliccio nervoso dei meccanismi dello spazio tridimensionale e del tempo, e acquista nella coscienza la dimensione temporale, oggettiva, del GT e soggettiva del PT.

Schematicamente, e per ordinare la mole di informazioni che la ricerca sul tempo fornisce, si utilizza di regola la ripartizione fenomenologica di Ernst Pöppel del 1978.[3] Egli distingue cinque esperienze coscienti del tempo: esperienza della durata, simultaneità e successione, sequenza degli eventi, senso del presente, anticipazione del futuro. A questi meccanismi ne va aggiunto un sesto, che crea il tempo anche durante il sonno, quindi nell'incoscienza. Si tratta di esperienze diverse, e quindi diversi sono, in parte, i loro meccanismi nervosi, a conferma dei dati secondo i quali un centro unico dell'esperienza temporale non esiste. Essa coinvolge diverse aree corticali e sottocorticali, comuni ad altre esperienze, in particolare il senso dello spazio e del numero.[4]

Del senso del tempo sono elementi costitutivi le aree cerebrali della memoria. In particolare l'ippocampo, che è l'organo chiave sia della memoria sia del senso del tempo e dello spazio.

Le *forme verbali* "è", "è stato", "sarà" indicano diversi modi del tempo. Esse si possono distinguere in quanto il tempo, pur con le sue differenze, è un'unità. Nei suoi aspetti diversi, e nonostante i vari meccanismi nervosi che lo producono, il tempo è un'unità che scorre, perché come tale è sentito dalla coscienza.[5] I suoi vari aspetti hanno un fondamento nervoso comune che conferisce a esso la sua natura teleologica: sia il tempo assoluto (GT) sia quello fenomenologico (PT) ordinano la vita e impediscono – come il fisico John Archibald Wheeler trovò scritto nel graffito di un orinatoio – che tutto accada contemporaneamente.[6]

LA DURATA

Ci domandiamo: il giudizio sulla durata di un evento o di uno stimolo dipende da meccanismi nervosi specializzati, con strutture nervose particolari che elaborano e trasmettono alla coscienza i rapporti temporali fra gli eventi? Oppure la rappresentazione della durata è intrinseca alla dinamica dei meccanismi nervosi propri dell'evento?[7]

La durata, come tutte le varianti del senso del tempo, dipenderebbe dalla durata dell'attivazione della rete di neuroni sincronizzati nell'evento.[8] La corteccia visiva primaria produrrebbe il senso della durata dello stimolo visivo[9] e quella acustica il senso della durata del suono, senza bisogno di meccanismi esterni per il senso del tempo. In questo caso, il meccanismo che trasmette ai centri della coscienza il senso del tempo potrebbe elaborare contemporaneamente altri stimoli sensoriali.

La teoria secondo la quale il senso del tempo dipenderebbe da strutture specializzate e non dai meccanismi propri delle varie attività cognitive è molto più corroborata dell'altra, grazie alla facilità con cui è possibile paragonare il tempo fra modalità sensoriali diverse: ne sono esempi il paragone fra la durata di un suono e quella di un fascio di luce (anche se, come si vedrà a proposito della compressione del tempo, con parecchia approssimazione) e la tendenza a esprimere la durata di uno stimolo visivo con una lunghezza (una visione lunga o corta), cioè con un evento spaziale. Ciò fa pensare a un meccanismo temporale specializzato che interviene in percezioni diverse, distribuito in molte aree corticali e sottocorticali, nel cervelletto, nei gangli della base, nell'area motoria supplementare, nella corteccia prefrontale, specie di destra, nell'ippocampo[10] e nella corteccia cingolata.[11] Non è possibile stabilire quale delle due teorie sia più prossima alla realtà, anche se quella delle reti nervose specializzate per il tempo sembra più plausibile. Non è escluso, comunque, che entrambi i meccanismi siano attivi.[12]

La previsione di una durata, cioè di quanto durerà qualcosa che sta per avvenire, attiva nella risonanza magnetica funzionale soprattutto il solco infraparietale sinistro e l'ippocampo.[13] La durata soggettiva di un evento dipende dall'attenzione che esso suscita.

Si mostrano a volontari, sullo schermo di un computer, cerchi neri in successione per 10-50 millisecondi: l'inattesa comparsa di un cerchio rosso è avvertita come se durasse più a lungo. L'espansione soggettiva del tempo è una distorsione attribuita alla quantità di informazioni fornite da un evento che, per il fatto di essere inatteso, stimola maggiormente l'attenzio-

ne. Durante eventi pericolosi (un incidente, una rapina) e brevi, il tempo scorre più lento e la loro durata è allungata.[14] Se i volontari sanno che la comparsa di un segnale anomalo annuncia una ricompensa in denaro, la durata soggettiva della sua presenza sul monitor è ancora più lunga.[15] Più alta la ricompensa, quindi, più viva l'attenzione, maggiore la durata. In queste situazioni, oltre alla parte laterale dei lobi parietali, di cui si conosce da tempo l'importanza nelle valutazioni materiali,[16] è attivo il solco intraparietale e aumenta la secrezione nel mesencefalo di dopamina, che accentua la rilevanza dello stimolo.

DURATA PROSPETTICA E DURATA RETROSPETTIVA

Un'esperienza frequente, già ricordata: si va di fretta, e ci si deve fermare al rosso del semaforo. L'esperienza di quella durata è l'allungamento del tempo dell'attesa, tanto più lungo quanto maggiore è l'ansia (cioè lo stato di eccitazione e di paura per una minaccia spesso ambigua e non specifica) del ritardo.[17] In questa circostanza è attiva soprattutto l'amigdala.[18] Se si è emotivamente indifferenti, l'intervallo soggettivo è di regola più breve del tempo oggettivo, cioè – come vedremo nel capitolo 8 – è compresso. L'attesa ansiosa al semaforo rosso è in realtà più complicata: quando dal rosso si passa al giallo, l'attesa dell'agognato verde, che si sa imminente, è sempre più breve di quanto sarebbe se l'attesa fosse emotivamente indifferente.[19]

La durata del tempo che passa, cioè quella prospettica – sentita in secondi, minuti, ore o giorni – rispecchia la condizione mentale (a volte, ha scritto un famoso neurologo, anche la situazione del conto in banca)[20] di chi vi presta attenzione ed è l'elaborazione temporale fondamentale dell'esistenza. "In te, anime meus, tempora metior. In te inquam tempora metior", scrive Agostino in un celebre passo sul tempo.[21] Il tempo è la costruzione dell'Io, sostengono i filosofi (come Martin Heidegger, che ha reso in una parafrasi tedesca magistrale il passo di Agostino),[22] mentre lo scienziato dichiara che è la costruzione

di meccanismi nervosi selezionati durante l'evoluzione. Filosofi e scienziati lavorano in maniera diversa, e quindi danno alla coscienza un senso diverso del tempo, a seconda che si tratti di una valutazione *prospettica* oppure *retrospettiva* della durata.[23]

Nella valutazione prospettica, la persona giudica la durata del tempo che sta scorrendo; nella retrospettiva, valuta la durata di un periodo trascorso, alla quale rivolgono l'attenzione i centri nervosi della memoria. Nell'esperienza prospettica del tempo, la durata soggettiva dipende dalla quantità di attenzione rivolta al tempo: se essa, come nel caso del rosso al semaforo, è concentrata solo o prevalentemente sul tempo, la durata è allungata, anche di molto, rispetto al tempo oggettivo.

La valutazione prospettica del tempo è di regola implicita, perché per gran parte di ciò che si fa l'aspetto temporale non è preminente.[24] La durata si riduce in proporzione all'attenzione e all'impegno mentale rivolti a eventi estranei al senso del tempo (per esempio, un lavoro difficile o una partita di football alla televisione).[25] Il neurochirurgo di Stanford Paul Kalanithi, morto di carcinoma polmonare a 37 anni, spiegò quanto fosse *funny*, buffo, il senso del tempo in sala operatoria: immerso in un lavoro che richiede massima concentrazione, il chirurgo non ha il senso dello scorrere del tempo; 2 ore possono sembrare un minuto. Dopo l'ultimo punto di sutura, riparte improvvisamente il senso del tempo normale.[26]

Per molti pazienti affetti da malattia di Parkinson trattati con levodopa, "tutto si muove troppo in fretta", a volte con una particolare accelerazione durante le ore serali.[27] Però con eccezioni. Alla domanda: "Quanto a lungo avete aspettato prima di entrare in ambulatorio?" (tempo retrospettivo), la risposta in venticinque pazienti è stata corretta o con scarto minimo. Alla domanda quanto lungo fosse sembrato il tempo della visita (tempo prospettico) in quattordici pazienti lo scarto in più o in meno era trascurabile, in undici (in condizioni cliniche analoghe) era allungato di 5 minuti, fino a 26 per una consultazione di circa un'ora. Il fastidio di rispondere per l'ennesima volta più o meno alle stesse domande, la difficoltà psicologica di parlare dei propri mancamenti e l'imbarazzo per i propri danni neuro-

logici allungava verosimilmente la durata soggettiva della visita. Se non si fa niente, in uno stato psicologico neutro, i meccanismi del tempo trasmettono alla coscienza una durata inferiore a quella oggettiva. Nemmeno nella neutralità affettiva ed emozionale, il tempo sentito (PT) corrisponde a quello dell'orologio (GT). Il meccanismo nervoso del senso della durata agisce non solo a seconda dello stato d'animo, ma anche in relazione a eventi naturali apparentemente irrilevanti per il tempo. Più alta è la temperatura del corpo o dell'ambiente, per esempio, più veloce è sentito il passare del tempo.[28]

La durata soggettiva dell'osservazione – oggettivamente uguale – di un cibo che disgusta è inferiore a quella dell'osservazione di un cibo che piace. Ci si illude, forse, di comprenderne più in fretta la natura e, quindi, l'eventuale pericolo.[29] In pazienti in fase maniacale, il tempo scorre più velocemente che in quelli in fase depressa.[30] In pazienti consapevoli della gravità o inesorabilità della loro malattia, il tempo, di regola, scorre più lentamente di quello oggettivo o avvertito in condizioni psicologiche normali.[31]

Nel suo magistrale studio del 1953 sul lobo parietale, Macdonald Critchley, dopo l'esperienza con pazienti portatori di lesioni in quella regione, segnalava l'importanza del lobo parietale nella valutazione del tempo, che, in caso di lesione, può scorrere troppo veloce, troppo lento, oppure alternativamente veloce e lento, "come parte di una distorsione più generalizzata del senso del tempo".[32] Studi di visualizzazione cerebrale hanno mostrato l'attivazione precoce e determinante nella valutazione prospettica del tempo sia della parte inferiore del lobo parietale destro sia della corteccia premotoria bilaterale, mentre la parte dorsolaterale della corteccia prefrontale destra, verosimilmente coinvolta nella memoria, è attiva nel paragone di intervalli di tempo pregressi.[33] La corteccia parietale conferma la sua importanza nella valutazione della dimensione del tempo, determinante per ogni azione.[34]

8

L'ILLUSIONE DELLA SIMULTANEITÀ

LA COMPRESSIONE DEL TEMPO

La compressione, cioè l'accorciamento fino alla scomparsa, del tempo soggettivo (PT) rispetto a quello oggettivo (GT) di un evento nervoso (per esempio, una percezione multisensoriale o la percezione di un rapporto di causa ed effetto) è uno dei meccanismi nervosi fondamentali del rapporto della coscienza con il mondo.

Il tempo non è sempre lo stesso tempo.[1] La manipolazione del senso del tempo rende le percezioni più incisive e, nel caso della causalità, più convincenti di quanto sarebbero se la compressione non avvenisse. Complessa ed elusiva, la compressione del tempo è un evento chiave e costante dell'esperienza sensoriale e dei meccanismi cognitivi. È convincente l'ipotesi che sia il risultato della selezione evolutiva dei meccanismi nervosi del tempo.

LA COMPRESSIONE DEL TEMPO NELLA STIMOLAZIONE PLURISENSORIALE

Un uomo, 53 anni, avvertì improvvisamente il torpore della parte sinistra del corpo, che durò alcune ore, e un gran mal di testa. Da quel momento i movimenti delle labbra di chi gli parlava non corrispondevano a ciò che la persona diceva, come un film con audio e video non sincronizzati. La cosa era non solo sgradevole, ma anche imbarazzante, perché la comprensione di quel che sentiva dire era molto ostacolata. Non guardava in faccia gli interlocutori (ne fissava il ventre), e cercava di comunicare il più possibile con il telefono. La causa era un'ischemia nel lobo parietale dell'emisfero cerebrale destro. Due

anni dopo, il difetto della sincronizzazione audiovisiva era immutato. Il disturbo era limitato all'ascolto del linguaggio.[2]

Non era un disturbo della visione, dell'udito o della comprensione del linguaggio, ma della sincronizzazione dei meccanismi nervosi delle percezioni auditiva e visiva. È un esempio di quello che sarebbe il rapporto con il prossimo se la sincronizzazione, cioè la manipolazione del tempo della stimolazione ottica e di quella uditiva, non avvenisse. Essa avviene inconsciamente nei meccanismi nervosi del rapporto della coscienza con il corpo e con il mondo.

Se si guarda e si ascolta una persona che parla, si vedono le labbra muoversi e, simultaneamente, si sente e si comprende ciò che dice, nell'attimo in cui lo dice. Spesso, oltre al suono e al movimento delle labbra, il linguaggio è accompagnato da espressioni del volto, delle braccia e del corpo, che facilitano la comprensione del contenuto e della tonalità affettiva di ciò che si dice.[3]

Del mondo abbiamo l'esperienza cosciente che gli eventi multisensoriali (come suono e visione) sono percezioni sincrone e immediate.[4] È una doppia illusione. È un'illusione la percezione che le onde acustiche e quelle elettromagnetiche della visione arrivino nei centri nervosi e vengano elaborate simultaneamente. È un'illusione che un evento sensoriale e la sua percezione cosciente siano simultanei. Fra i due momenti c'è un intervallo di circa mezzo secondo, necessario ai meccanismi nervosi per elaborare informazioni, riflessioni, percezioni uni- o multisensoriali. Quel tempo è compresso e non è avvertito. Il tempo compresso, non arrivando ai meccanismi della coscienza, è come se non esistesse. È un *temps perdu* nel senso di Hermann von Helmholtz.

In realtà, esso costituisce una delle dimensioni determinanti dell'esperienza sensoriale, che richiede in ogni stadio il funzionamento di meccanismi nervosi complessi. Lo studio della *temporal window of multisensory integration* fra gli arrivi scaglionati nel tempo degli stimoli alle aree cerebrali e la percezione unitaria che, nondimeno, ne risulta è uno dei campi più studiati della neurofisiologia del senso del tempo.[5]

LA COMPRESSIONE DEL TEMPO NELL'ESPERIENZA AUDIOVISUALE

Consideriamo il caso clinico descritto sopra. Dalla retina alla corteccia visiva primaria nel lobo occipitale, la stimolazione visiva delle labbra che si muovono impiega circa 30-50 millisecondi; il tempo della stimolazione acustica, dall'orecchio alle aree acustiche dei lobi temporali, è di 15-20 volte inferiore.[6] La retina impiega tempo per trasferire chimicamente la luce dai 106 milioni di fotorecettori di ogni occhio ai nervi ottici, che la inoltrano come stimolo nervoso alla corteccia visiva primaria.[7] Fino a una distanza di 10-15 metri (*orizzonte della simultaneità*) la maggiore velocità delle onde elettromagnetiche della luce (3.000.000.000 di metri al secondo) rispetto alle vibrazioni acustiche (330 metri al secondo) compensa il lungo tempo impiegato dalla trasmissione dalla retina alla corteccia visiva primaria, per cui l'informazione visiva e quella acustica arrivano ai meccanismi della coscienza simultaneamente.[8] Quest'azione sembra impegnare particolarmente l'insula e le regioni occipitali, frontali e parietali.[9]

Il paziente di cui s'è riferito aveva una lesione ischemica del lobo parietale destro, come nella maggioranza dei casi riportati in letteratura.[10] Nella sincronizzazione di suono e visione di un movimento sono attive l'insula e le reti corticali temporali, occipitali e frontoparietali, il talamo e il collicolo superiore adiacente alle vie uditive.[11]

Nonostante la maggiore velocità della luce, nelle corse di atletica la partenza è data con un colpo di rivoltella e non con un'immagine visiva (un lampo) perché le cellule della corteccia uditiva reagiscono al suono più in fretta di quelle delle aree visive alla luce.[12] Gli atleti che corrono i 100 metri lasciano i blocchi di partenza 130 millesimi di secondo dopo lo sparo dello starter, di cui saranno consapevoli dopo circa mezzo secondo. A quel punto sono già in piena corsa.[13] L'attivazione iniziale e inconsapevole delle aree acustiche è sufficiente ad attivare le aree motorie prima che se ne sia consapevoli.[14] Come si spiega la simultaneità audiovisiva, quando la sorgente

di luce e suono si trova a distanze maggiori? Per coprire una distanza di 40 metri, le onde sonore impiegano 120 millisecondi, cioè 1 metro ogni 3 millisecondi. Le onde elettromagnetiche della visione impiegano infinitamente meno tempo. A temperatura ambiente è stata registrata, per una distanza di 40-50 metri, una latenza globale del suono rispetto alla visione di 106 millisecondi, che, da parte di un cervello normale, vengono totalmente compressi, talché la coscienza non li percepisce.[15] Il cervello sincronizza simili percezioni comprimendo i tempi lunghi, non allungando i tempi brevi. La simultaneità del vedere e sentire entro i 40-50 metri implica la compressione del tempo dell'elaborazione acustica. A distanze maggiori – come nell'esperienza del vedere il lampo e, dopo un intervallo proporzionale alla distanza della fonte, sentire il tuono – la consapevolezza visiva è più rapida di quella acustica, perché i segnali acustici arrivano all'orecchio con un ritardo, rispetto all'informazione visiva, che non viene compresso. La coordinazione di stimoli apparentemente simultanei avviene non perché il cervello abbia una finestra temporale generale in cui collocarli e dalla quale trasmetterli ai centri della coscienza, ma grazie al fatto che ogni stimolazione è calibrata secondo la distanza della sorgente acustica e visiva. La simultaneità soggettiva è un'interpretazione cerebrale, non un segnale fisico del mondo esterno.[16] Il meccanismo nervoso attiva i centri, specie quelli parietali, per la valutazione dello spazio in cui sorge e viaggia l'informazione.[17] Questo meccanismo, che comporta l'elaborazione spaziotemporale corticale immediata da parte dell'insula, della parte posteriore del talamo e della corteccia prefrontale, occipitale e parietale, è particolarmente sviluppato per il linguaggio parlato.[18] La sua importanza per la comunicazione e per la stimolazione ne fa un evento particolare dei meccanismi percettivi e della conoscenza.[19] La sincronicità è stabile,[20] anche se varia da persona a persona, perché non esiste un cervello uguale a un altro. A ventitré volontari si faceva sentire un suono da 250 millisecondi, prima, fino a 250 millisecondi dopo un lampo. Il momento di simultaneità soggettiva variava dal suono sentito 21 millisecondi prima a 150 millisecondi dopo il lampo.[21] Per percepire quale dei due stimoli sia il primo, deve esserci un intervallo di 60-70 millisecondi.[22]

La compressione inconsapevole del tempo e la sincronicità illusoria di stimolazioni diverse, dovute alla capacità del cervello di convogliare molteplici modalità sensoriali in un unico flusso temporale omogeneo e coerente, sono la normalità dell'esperienza sensoriale.[23] Il punto della simultaneità soggettiva audiovisuale cambia in modo dinamico: volontari abituati a un intervallo fra segnale visivo e acustico di 3 minuti, chiamati a stabilire la simultaneità soggettiva, che normalmente avveniva dopo 10 millisecondi, con il segnale acustico che precedeva quello visivo, la posponevano fino a 235 millisecondi, perché i meccanismi nervosi si erano adattati a un intervallo di 3 minuti. La simultaneità soggettiva è un'interpretazione cerebrale spaziotemporale degli eventi e non la semplice trasmissione della simultaneità fisica fra segnali nervosi.[24]

Il cervello mostra, nelle indagini con la PET, la maggiore attività nelle aree posterodorsali e laterali al nucleo striato, nel solco temporale superiore sinistro e nella corteccia occipitale ventrale e dorsolaterale in caso di stimolazione audiovisuale sincrona, anche se da fonti diverse. Se la fonte è unica (come nella visione e nell'ascolto di una persona che parla) è particolarmente attiva l'area occipitale dorsolaterale. Se gli stimoli sono sincroni e da fonti diverse, è particolarmente attiva la parte inferiore del lobo parietale destro.[25] La compressione spaziotemporale potrebbe essere principalmente opera dell'area parietale laterale di entrambi gli emisferi, attiva nell'elaborazione della durata e della distanza.[26]

LA COMPRESSIONE DEL TEMPO NELLA STIMOLAZIONE MONOSENSORIALE

La compressione del tempo regola anche le percezioni monosensoriali: se siamo toccati nello stesso istante in faccia e in un piede, siamo coscienti simultaneamente dei due toccamenti, anche se lo stimolo che parte dal piede impiega 30-40 milli-

secondi per arrivare all'area parietale somatosensoriale dell'emisfero controlaterale e quello che parte dalla faccia impiega 5-10 millisecondi.[27] Se osserviamo il toccamento, lo vediamo simultaneamente alla sensazione tattile, anche se la velocità delle due informazioni (visiva e tattile) è ben diversa.[28]

Per passare dalle aree primarie della sensibilità ai meccanismi della coscienza l'informazione impiega 300-400 millisecondi, compressi in modo tale da non essere avvertiti. Con la crescita corporea si allungano i tempi della comunicazione ascendente e discendente fra cervello, tronco ed estremità, e la conduzione nervosa perde velocità. La percezione cosciente rimane simultanea.[29]

Il meccanismo della compressione del tempo rileva la differenza e provvede a eliminarla. Il tempo più lungo della stimolazione dell'area corticale del piede è compresso fino alla simultaneità con la stimolazione dell'area della faccia, avvenuta 30-35 millisecondi prima. Entrambe le stimolazioni vengono avvertite e viste come simultanee al momento in cui avvengono, anche se la percezione cosciente dei due eventi sensoriali richiede quasi mezzo secondo.

Tempo e spazio sono compressi anche durante i tre rapidi e minimi movimenti al secondo (le saccadi) che gli occhi compiono, di regola involontariamente, per tenere al centro dello sguardo l'oggetto che interessa.[30] Che ciò avvenga sempre inavvertitamente – cioè che quel breve tempo sia compresso – sorprese già Hermann von Helmholtz.[31]

Quando fissiamo un oggetto, e poi spostiamo lo sguardo, l'immagine dell'oggetto non si muove, anche se in realtà si sposta dal centro alla periferia del campo visivo. Ciò perché l'occhio, inavvertitamente, ogni terzo di secondo torna a orientare la fovea (il punto di massima acuità visiva al centro della macula) verso l'oggetto. Ciò implica continui adattamenti dei punti di riferimento delle strutture nervose del tempo e dello spazio. L'oggetto centrale si sposta verso la direzione della saccade. Se durante la saccade sono mostrati due punti luminosi a intervalli variabili, l'intervallo fra loro è percepito come più breve di quello misurato con l'orologio. Se, anziché lampi, si susseguono

due suoni, l'intervallo fra loro non è distorto, a conferma che il senso del tempo non è né unitario né lineare, perché in tal caso sarebbe costante in tutte le modalità sensoriali.[32] Altri esperimenti hanno mostrato che è possibile alterare la dimensione soggettiva degli intervalli e la percezione della simultaneità.[33]

CAUSALITÀ E COMPRESSIONE DEL TEMPO

Per David Hume le deduzioni causali si basano sulla priorità temporale, sul collegamento costante e sulla contiguità nello spazio e nel tempo di causa ed effetto.[34] Il senso del tempo è parte del senso della causalità, lo determina e lo condiziona,[35] perché essa presuppone un prima e un poi, e condiziona così la decisione operativa.

La compressione del tempo facilita percezioni ed eventi mentali astratti, come il riconoscimento del rapporto fra causa ed effetto. È più facile riconoscere un rapporto causale quando gli eventi sono soggettivamente vicini nel tempo e nello spazio. La ricerca e il riconoscimento della causa degli eventi è un'attività mentale continua, indispensabile per capire, imparare e sopravvivere.[36] Se, passeggiando in un bosco, sentiamo un ramo che si spezza, cerchiamo di stabilire se l'abbiamo spezzato noi camminandoci inavvertitamente sopra. In caso contrario, potrebbe essere il segnale di un pericolo, che va immediatamente individuato.[37]

Le relazioni temporali e spaziali dei segnali degli organi di senso sono essenziali per integrare le varie modalità dell'informazione. Ogni meccanismo dell'informazione reagisce a un tipo e a un ambito particolare di energia, usa metodi specifici di trasmissione dell'informazione all'interno del cervello e ha aree corticali primarie specifiche per la sua elaborazione. La coordinazione dei sistemi sensoriali, in particolare dello spazio e del tempo, è essenziale per interpretare gli eventi del mondo esterno ed elaborare il comportamento coerente.[38] L'apprezzamento della causalità richiede la regolarità dell'esperienza temporale per stabilire che B è causato da A, ovvero che ad A segue B.

Il meccanismo della percezione attenua l'incertezza e l'ambiguità dell'apprezzamento della causalità abbreviando il senso della durata dell'intervallo fra causa ed effetto: una causa e il suo effetto sono percepiti temporalmente più vicini di quanto in realtà siano. Anziché fluido, lineare e costante come ci appare nella deduzione causale, lo scorrere del tempo è continuamente rimaneggiato in una scala inferiore al secondo.[39] Dodici volontari erano chiamati a premere un tasto. 250, 450 o 650 millisecondi dopo si udiva un suono. I volontari dovevano valutare la durata dell'intervallo fra la pressione del tasto e il suono. La durata soggettiva era inferiore a quella misurata dall'orologio da 5 fino a 103 millisecondi. Nelle azioni intenzionali, delle quali si sa che sono la causa e di cui si conoscono in anticipo gli effetti, il senso della durata fra causa ed effetto è inferiore a quello misurato dall'orologio (*binding effect*): il senso del momento in cui si preme il tasto è spostato in avanti e quello del momento in cui si ode il suono è spostato indietro.

Se il suono era provocato non da un atto volontario, ma dal programma casuale di un computer oppure dalla stimolazione magnetica transcraniale casuale della corteccia motoria della mano che doveva premere il tasto, allora la valutazione soggettiva coincideva con l'intervallo dell'orologio.[40] Questa esperienza, che risale al 2002, ha rappresentato la prima comunicazione sulla compressione del tempo nella deduzione causale. Le azioni volontarie sarebbero correlate ai loro effetti dalla compressione del senso del tempo, che può condizionare il comportamento. Esperimenti successivi hanno corretto questo primo lavoro limitando il ruolo dell'intenzionalità. Ogni azione (intenzionale o meno) comporta la compressione del tempo fra causa ed effetto, anche se chi rileva la sequenza dell'evento non ne è la causa. Si sente l'effetto più prossimo se ne si conosce la causa, indipendentemente dall'intenzionalità.[41]

Determinante per il senso del tempo è la conoscenza certa della causa e la previsione del suo effetto.[42] Si parla di *causal binding*, di cui l'*intentional binding* sarebbe un aspetto, per i meccanismi nervosi del senso del tempo che comprimono la

relazione temporale soggettiva fra eventi di cui si è accertata la relazione di causa ed effetto. Più tardi si è visto che se il movimento della mano che preme il tasto è dovuto alla stimolazione transcutanea dell'area motoria primaria (e quindi è involontario), l'intervallo soggettivo fino al suono è allungato rispetto a quello oggettivo.[43] Non l'intenzionalità, ma la consapevolezza della causa comprime il tempo.[44] L'intenzionalità lo accorcia ulteriormente.[45] Essa può venire simulata:[46] l'*intentional binding* è più intenso (cioè l'intervallo fra causa ed effetto sembra più breve) se il volontario è convinto che sia il suo premere il tasto a provocare l'effetto, anche se non è vero.

Il *binding effect* può arrivare a un'inversione dell'ordine temporale. Volontari premevano un tasto. Dopo un intervallo di 35 o di 135 millisecondi seguiva un lampo colorato. L'intervallo soggettivo era inferiore a quello dell'orologio. Se l'intervallo era improvvisamente ridotto al minimo, il lampo veniva visto *prima* di premere il tasto. Nel momento dell'illusione del lampo che precede la pressione del tasto, la risonanza magnetica funzionale mostrava un'attivazione intensa di una piccola area ai margini della corteccia cingolata e della corteccia frontomediale di entrambi gli emisferi. Un'attività corticale intensa causata da un'illusione induce a pensare che il cervello abbia una versione codificata della rappresentazione basilare del tempo che reagisce alla sua inversione.[47]

BENJAMIN LIBET SPOSTA INDIETRO IL PRESENTE[48]

Si è consapevoli dell'esperienza sensoriale non quando essa avviene, ma quasi mezzo secondo dopo. Non abbiamo (fortunatamente) consapevolezza della lunga latenza, che verosimilmente sarebbe parecchio sgradevole. Per questo, probabilmente, nell'evoluzione è prevalso il meccanismo della calibrazione dinamica, che rende unitaria la percezione di stimoli diversi e cancella il tempo necessario alla corteccia associativa per rendere gli stimoli coscienti.

Degli studi di Benjamin Libet sul tempo perduto, cioè compresso, all'interno del cervello, si è parlato nel capitolo 4. Qui ricordiamo un esperimento del 1979, che ha definitivamente demolito la simultaneità dell'esperienza sensoriale fra un evento e la coscienza che se ne ha, anche se essa sembra la normalità.[49]

Un toccamento della pelle, in qualunque parte del corpo, viene avvertito nello stesso attimo in cui avviene. In realtà, neuroni e sinapsi delle aree nervose della coscienza impiegano circa mezzo secondo per elaborare l'informazione del toccamento e renderlo cosciente. Dell'intervallo di circa mezzo secondo fra toccamento e consapevolezza di esso non si è coscienti.

Il ritardo neuronale fra evento e coscienza di esso viene chiamato da Libet *retroactive referral time*, cioè "rimando retroattivo", di cui non si ha coscienza e che non entra nella memoria. La compressione inconscia di quel tempo significa che del presente diventiamo consapevoli sempre con mezzo secondo di ritardo. È arduo combinare la latenza di mezzo secondo con la possibilità di distinguere vibrazioni tattili separate da pochi millisecondi. I millisecondi fra ogni vibrazione si aggiungono alla latenza di cui non si ha coscienza.

Si vive nel passato. Il presente, eliminato dalla realtà insieme a passato e futuro dalla fisica della relatività e dalla fisica quantistica, è retrocesso dai dati sperimentali della neuroscienza a un passato inevitabile, a causa del tempo (compresso e di cui non si è coscienti) necessario ai meccanismi nervosi della coscienza per percepirlo. La compressione del tempo conferma l'esistenza del presente, percepito, però, dopo il tempo necessario al cervello per elaborare gli stimoli che dai meccanismi primari della conoscenza (aree visive, somatosensoriali ecc.), dalle aree prefrontali della riflessione e dal sistema limbico dell'emotività arrivano ai meccanismi della coscienza.

Dopo una conferenza di Benjamin Libet a Göteborg nel 1993, un giornale locale titolò il resoconto: "È provato: noi siamo sempre in ritardo".[50] Ciò si riferisce non soltanto al senso del tempo, ma al comportamento in generale: Libet dimostrò già negli anni Sessanta del secolo scorso, con esperimenti poi più volte confermati con tecnologie più sofisticate

di quelle che lui aveva a disposizione, che meccanismi nervosi precedono la coscienza, la quale viene informata *ex post*, in parallelo, di ogni azione, stato d'animo e riflessione apparentemente volontari. Non si fa quel che si vuole, quindi, ma si vuole quel che il cervello ha scelto di fare. La volontà libera di scegliere sarebbe un'illusione. Gli esperimenti e i dati di Libet, e degli esperimenti successivi che li hanno confermati, non chiariscono definitivamente se la costante attività corticale spontanea che precede ogni contenuto della coscienza ne sia la causa o non sia piuttosto un'attività nervosa collaterale. Le indagini – per ora – non confermano e non smentiscono alcuna ipotesi.[51]

LA COMPRESSIONE CONSAPEVOLE DEL TEMPO IN CASO DI LESIONI DEL CERVELLO: *ZEITRAFFERPHÄNOMEN*

La compressione inconsapevole del tempo condiziona inavvertitamente la percezione con un meccanismo, regolato probabilmente soprattutto dal lobo parietale destro e dall'insula, emerso nella selezione naturale perché facilita la percezione mono- e plurisensoriale.

Uno dei disturbi della compressione del tempo – l'abbiamo visto – è la mancanza di sincronia fra esperienze sensoriali diverse, dovuta al fatto che il tempo più lungo di una sensazione (per esempio, acustica) non viene compresso a sufficienza per essere sincrono con quello di un'altra sensazione (per esempio, visiva). L'alterazione del meccanismo della compressione può causare l'accelerazione del senso del tempo, al punto che la persona colpita ne diviene consapevole. Essa è indicata con il termine tedesco *Zeitrafferphänomen* (che denota un film girato o proiettato con l'acceleratore). Non è raro in lesioni vascolari e, talora, in tumori del cervello.

Il primo disturbo di un tumore cistico maligno del lobo frontale anteriore sinistro in un uomo di 52 anni fu il senso improvviso di un'accelerazione "incredibile" di tutto quel che osservava e faceva. Il figlio

di pochi anni che correva attorno al tavolo gli pareva così veloce da non poterlo sopportare; guidare l'automobile era impossibile, perché sentiva di viaggiare a una velocità doppia di quella reale, e altrettanto veloci erano le automobili sulla strada. Percezione e sequenza di quel che avveniva e orientamento spaziale erano normali. Il paziente era consapevole di quel che gli succedeva. L'orientamento temporale era distorto per l'impossibilità di valutarne anche solo approssimativamente la durata. Mezz'ora di colloquio in ambulatorio erano per lui 5 o 6 minuti.

Nella letteratura è riportato un caso analogo, di un uomo di 66 anni che non sopportava di guardare la televisione perché le immagini erano così veloci da non poter seguirle, e guidando l'automobile passava spesso con il rosso del semaforo perché non riusciva a reagire in tempo a quel che succedeva troppo velocemente. Nessun disturbo spaziale e della sequenza temporale, seppur accelerata. Anticipava il tempo di un'ora. La causa era un tumore maligno non nel mezzo del lobo frontale sinistro, come nel caso precedente, ma nella parte più anteriore, nel lobo prefrontale sinistro.[52]

In una donna di 77 anni, tre mesi dopo l'operazione di un meningioma (tumore benigno) frontobasale destro, rimaneva il disturbo precedente all'intervento: accelerazione del senso del tempo tale che poche ore dopo essersi alzata al mattino presto pensava che fosse sera. La sequenza temporale era corretta, ma tutto avveniva così in fretta da innervosirla e spesso intimorirla.

Sedici di ventidue pazienti controllati circa la valutazione del senso del tempo a diversa distanza da un ictus in varie aree corticali e sottocorticali di entrambi gli emisferi, con decorso soddisfacente dei deficit della parola, della sensibilità e del movimento, in dieci casi con ricovero completo, continuavano a lamentarsi spontaneamente dell'accelerazione del tempo, sufficiente a complicare la vita. Un paziente era perennemente disorientato perché 4 ore erano per lui una sola. In un altro ammalato l'accelerazione che lo disorientava (15 minuti venivano sentiti come 5) diminuiva nel corso della giornata. Per un'altra paziente, disorientata nel tempo tutto il giorno, 17 minuti erano sentiti come 10; 20 secondi di lettura di numeri erano per lei 7-8. Per un altro paziente, disorientato al punto di non sapere spesso se fosse mattino o pomeriggio, erano 5.

Il tipo di disturbo e la sua intensità non erano correlabili in modo sistematico con la sede della lesione. Per esempio, una lesione ischemica del talamo sinistro aveva lasciato il senso del tempo rallentato: tutto era fastidiosamente "troppo lento"; in un altro paziente la lesione analoga a destra aveva lasciato invece il tempo accelerato, verso sera anche di molto.

IL TEMPO COMPRESSO NELL'ETÀ AVANZATA

Una particolare compressione del tempo, diversa da quella – alla Libet – considerata finora, caratterizza l'età avanzata, in cui il tempo "va che vola", come si usa dire. "Quanto breve mi sembra ora una giornata a paragone di quelle dell'infanzia", diceva il fisico Ernst Mach.[53] La compressione è, di regola, più retrospettiva che prospettica, perché in età avanzata, se le giornate sono vuote d'impegni, spesso il tempo si sente scorrere lentissimo, come se non passasse mai. Il passato è invece compresso in un tempo che sembra trascorso "in un attimo". A quali modificazioni dei meccanismi del tempo – che avvengono in forma più o meno evidente come regola biologica in tutti i cervelli – questa distorsione sia da riportare, non si sa. In lesioni cerebrali circoscritte, di regola ictus del lobo frontale sinistro, può diventare impossibile collocare eventi anche importanti nel periodo giusto. Il passato viene riportato ai tre-quattro anni precedenti. Un mio paziente, colpito da tre ictus frontali a sinistra nel corso di ventotto anni, oltre a una lieve difficoltà a trovare le parole, riferiva il passato – per esempio, la maturità o la laurea, raccontate con ordine e ricchezza di particolari – agli ultimi tre o quattro anni, anche se accanto a lui sedeva la figlia di trent'anni nata dopo la laurea.[54]

Nel tardo autunno della vita, Francesco Petrarca traccia in pochi mirabili versi l'esperienza del tempo:

> [...] pensando al breve viver mio, nel quale
> stamani era un fanciullo et or sono vecchio.
> Che più d'un giorno è la vita mortale?[55]

Con l'avanzare dell'età diventa più importante il senso del tempo – limitato – che si ha davanti, cioè il futuro. Il passato perde d'importanza. Scopi, preferenze, l'attenzione, a volte anche la memoria, cambiano quando l'orizzonte del tempo si restringe.[56]

LA COMPRESSIONE DEL TEMPO COME MISURA DELLA VITA

La compressione del tempo è evidente negli eventi della coscienza, studiati da Libet con risultati confermati da molti ricercatori. La simultaneità di stimolazione e coscienza delle esperienze sensoriali è un'illusione: in realtà sono sempre asincrone.

Il senso del tempo non è lineare e coinvolge tutto il cervello e il cervelletto, anche se l'ippocampo e il lobo parietale (specie quello destro) sembrano svolgere il ruolo fondamentale.[57] Si conoscono molte aree corticali e sottocorticali che creano il senso del tempo, ma la loro relazione anatomica e funzionale – con i molti circuiti, le connessioni a breve e a lunga distanza e la possibile diaschisi – è ancora poco conosciuta.

L'aspetto temporale della realtà è percepito da meccanismi nervosi della coscienza. Essi, comprimendo intervalli di cui non rimane coscienza, alterano la realtà, anche se il cervello è in grado di studiare le durate reali, fissate da un meccanismo da lui ideato, l'orologio. L'esperienza cosciente dipende da meccanismi nervosi che elaborano le informazioni interne (pensieri, meditazioni, progetti, fantasie ecc.) e quelle percepite. L'informazione è cosciente quando diventa accessibile (circa 9/10 delle informazioni non lo diventano) ai molti sistemi e alle molte reti cerebrali dell'autocoscienza densamente distribuiti nella corteccia prefrontale, cingolata e parietotemporale.[58] Le sequenze di tali eventi, ha calcolato Gerald Edelman, richiedono da 1/10 di secondo fino a un secondo (quindi, più di quanto trovato da Libet), per cui il presente è sempre *remembered*, ricordato, non vissuto nell'immediatezza del succedere.[59] È verosimile che la vita perda, così, parte dell'efficienza che potrebbe avere se potesse agire contemporaneamente agli eventi, e non dopo.

L'esperienza percettiva è la sequenza di immagini, suoni, odori e di quant'altro costituisce il mondo. Essi fluiscono come segnali elettrochimici verso le aree integrative della corteccia che li rendono coscienti. La via dell'elaborazione della realtà non è solo nella direzione *bottom-up* dal mondo esterno

ai meccanismi della coscienza. Un'attività elettrochimica altrettanto intensa trasferisce informazioni nella direzione opposta, *top-down*, dalle aree associative verso le aree corticali primarie della percezione.[60] Ogni esperienza percettiva è condizionata dai meccanismi nei quali viene inserita, quindi anche dai meccanismi del tempo.

Nel caso di un dolore acuto per una lesione periferica, per esempio, dalle aree corticali che ricevono l'informazione ed elaborano la coscienza del dolore partono impulsi che ne controllano l'intensità. Il dolore che si prova è la somma algebrica dell'impulso ascendente che lo alimenta e di quello discendente che lo attenua.

Come la compressione del tempo, che rende omogenee percezioni non sincrone, anche l'attenuazione spontanea del dolore acuto ha un aspetto evolutivo importante e facilita l'esistenza. Per esempio, sopportare sforzi fisici nello sport o in circostanze pericolose o attenuare un dolore la cui intensità potrebbe mettere in pericolo la vita. Durante una battaglia o in incidenti gravi, le persone coinvolte possono essere temporaneamente insensibili a qualunque stimolo doloroso. Se quel meccanismo discendente, che ha una soglia individuale ampia, smette di funzionare, il dolore, anche per una lesione non grave, può diventare intollerabile.[61]

Tutte le percezioni avvengono in un percorso temporale i cui meccanismi nervosi *top-down* le manipolano fino a convogliarle come informazioni congruenti ai meccanismi e alle aree della coscienza. E così la compressione del tempo facilita il rapporto con ciò che avviene attorno a noi, anche se la consapevolezza non è simultanea. Come la civetta di Minerva, che, dice Hegel,[62] si mette in volo solo quando fa buio, arriviamo sempre in ritardo.

9

TEMPO, SPAZIO E NUMERO NELLA NATURA VIVENTE

GLI ANIMALI SENTONO IL TEMPO E CONTANO

La capacità di sopravvivere di un animale privo dei meccanismi dell'orientamento temporale e spaziale e di un'abilità numerica elementare (la *numerosità*) è inimmaginabile. Gli uomini, ha chiarito Darwin, hanno gli stessi sensi degli animali e le stesse intuizioni fondamentali.[1] Portano impressa nella struttura fisica l'impronta indelebile della loro origine remota.

I meccanismi nervosi della coscienza sono stati selezionati dall'evoluzione e seguono i principi dell'architettura cognitiva. Per molte caratteristiche biologiche, ciò che vale, per esempio, per topi o lumache di mare – di cui Eric Kandel ha studiato i meccanismi della memoria[2] – vale anche per primati e umani.[3]

Come molti esseri viventi, gli umani hanno meccanismi nervosi complessi per elaborare grandezze numeriche, temporali e spaziali.[4] Nell'uomo, i circuiti nervosi di questi eventi sono in parte comuni, e strettamente collegati. La loro storia evolutiva si rintraccia a partire da sistemi nervosi che, pur minuscoli e arcaici, sono tutt'altro che semplici. Le formiche, dotate di un sistema nervoso formato da alcune migliaia di neuroni raggruppati in gangli e non in emisferi, costruiscono formicai utilizzando foglie più grandi di loro e li tengono puliti, fanno servizi di guardia e proteggono le colleghe operaie, costruiscono sentieri e tunnel sotto binari e ruscelli, accumulano cibo ed emigrano secondo piani stabiliti, dimostrando memoria, altruismo (di cui sono un

modello nel mondo animale),[5] senso del tempo, dello spazio, della disciplina e della gerarchia.[6] All'interno di grandi termitai di alcune specie di termiti ci sono orti in cui vengono coltivati funghi a scopo alimentare.[7] Le termiti contadine hanno senso del tempo, altrimenti le coltivazioni andrebbero in malora.

Tre colibrì dalla coda rossa, grandi come passeri e con un becco lungo e sottile, sono stati allenati in laboratorio a succhiare il nettare di otto fiori artificiali. Quattro fiori erano riempiti 10 minuti dopo che gli uccelli li avevano svuotati, e quattro 20 minuti dopo. Gli uccelli rivisitavano i fiori riempiti dopo 10 minuti: molto più spesso e molto prima degli altri. Sapevano quali fossero i fiori svuotati più di recente, che, per un certo tempo, erano comunque evitati. Hanno quindi memoria, senso della durata e della sequenza (sanno qual è l'ultimo fiore svuotato) e della localizzazione degli otto fiori, evitando così voli inutili.[8] Piccioni sono stati allenati ad aspettare cinque secondi prima di beccare i chicchi gettati davanti a loro, e mantengono quel ritmo.[9]

Il cowbird o molotro, uccello parassita nordamericano delle dimensioni di un passero, non fa nidi suoi e depone le uova nei nidi di uccelli di oltre duecento specie. L'abilità della femmina del molotro consiste nell'individuare non solo l'ospite altruista, che non butti fuori dal nido uova e pulcini non suoi, ma anche il momento giusto per deporre le uova, che deve coincidere con l'inizio della covata delle uova dell'ospite. Il tempo d'incubazione del molotro è di dodici giorni, quello degli ospiti involontari fino a sedici. Come sapere quando l'incubazione inizia e come evitare di deporre l'uovo quando sta per finire? La femmina del molotro visita nidi ogni giorno: se il numero delle uova nel nido non aumenta, vuol dire che l'incubazione sta per iniziare. E così, all'alba, aggiunge il suo uovo. L'uccello è in grado di valutare tre grandezze: quella spaziale relativa ai posti in cui si trovano i nidi da tener d'occhio, quella temporale relativa alla durata dell'incubazione e quella quantitativa, relativa al numero delle uova covate dall'ospite.[10]

Topi di laboratorio, nutriti una volta al giorno, sempre alla stessa ora e nello stesso posto, dopo un certo tempo, pochi minuti prima dell'arrivo del cibo, tralasciano quel che stanno

facendo e si portano nel luogo dove il cibo è collocato, dimostrando memoria, senso del tempo, della durata e dello spazio. La corteccia prefrontale destra sentirebbe che il tempo dell'attesa sta per finire.[11] Secondo un'altra ipotesi, sarebbe l'area motoria supplementare, ugualmente attiva al termine dell'attesa, a paragonare il tempo trascorso a quello previsto. Essa si attiverebbe quando il termine previsto si sta avvicinando, perché lo paragona al tempo trascorso.[12]

Molti animali nascondono il cibo in posti diversi per consumarlo più tardi, per esempio in inverno, anche se questa caratteristica sembra essere di natura genetica più che una previsione esplicita del futuro.[13] Alcune specie di scoiattoli nascondono il cibo in quattro (non più di quattro) posti. Lo vanno a riprendere a partire dal primo (evitando così che vada a male) dopo intervalli più o meno fissi, grazie alla memoria, al senso della durata, della sequenza e dello spazio. Le ghiandaie azzurre sono magnifici uccelli con penne dai colori sgargianti che, se si accorgono di essere state osservate da colleghe mentre nascondono il cibo, lo riprendono e lo nascondono altrove. Ricordano dove sono i nascondigli e sanno quando è tempo di riprendere il cibo prima che diventi immangiabile.[14] La nocciolaia di Clark, uccello della famiglia dei Corvidi diffuso nell'America del Nord, nasconde il cibo (di regola pinoli) sottoterra, in migliaia di posti diversi, e lo va a riprendere anche dopo mesi, mostrando una grande memoria spaziale e senso della durata.[15]

Le specie che accumulano cibo in posti diversi hanno la parte posteriore dell'ippocampo destro, impegnato nella conoscenza spaziale e temporale, più voluminosa delle altre. Questa caratteristica è stata rilevata anche nei tassisti di Londra, che devono sapersi destreggiare in dedali di strade, stradine, sensi unici e divieti.[16]

TEMPO, SPAZIO E NUMERO

Tempo, spazio e numero sono domini nei quali il cervello codifica e calcola quantità. Tempo, spazio e numero sono co-

gnizioni astratte fin quando non vengono codificate in numeri di una matematica relativamente elementare, la cui codificazione cerebrale è ancora oscura. In tutte le culture il tempo è materializzato nello spazio, già a partire dai neonati.[17] È difficile, spesso impossibile, parlare di tempo senza usare il linguaggio dello spazio (*Il futuro ci sta davanti*, un *lungo* incontro o un *lungo* concerto, il termine *si avvicina* o *si allontana*, *uno spazio di tempo* ecc.).

Uno storico delle idee sostiene che non possiamo avere alcun concetto del tempo e che non lo avremo mai, se non in una metafora spaziale, cioè materializzandolo nello spazio. La metafora spaziale non vuol essere solo un'immagine che spiega, ma anche una concezione del tempo. In questo modo, però, ci precluderemmo la possibilità di afferrarne la struttura.[18] Aristotele sosteneva che "il movimento è continuo come è continuo il tempo, perché il tempo o è la stessa cosa del movimento o una sua proprietà".[19] David Hume era della stessa opinione: "Il tempo non può presentarsi alla mente né da solo, né accompagnato da un oggetto immobile e costante, ma si rivela sempre con una *percepibile* successione di oggetti mutevoli".[20] Il tempo, quindi, è materializzato come "cifra del movimento".[21] Ciò non è vero, perché il senso del tempo è presente alla coscienza anche nell'assoluta assenza di movimento.[22] Nondimeno, la dimensione spaziale è un mediatore dell'esperienza del tempo e della durata.[23]

La rappresentazione del tempo comporta che si facciano addizioni, sottrazioni e confronti con elementi numerici. La ricerca conferma l'ipotesi che vi sia un insieme anatomofunzionale comune ai tre domini di codificazione spaziotemporale e di calcolo.[24]

Le aree più specifiche per l'elaborazione del tempo sarebbero i lobi parietali (il sinistro, in particolare, per la valutazione dell'attesa), l'area motoria supplementare, la corteccia frontale destra. L'ippocampo potrebbe essere l'organo centrale e coordinatore delle tre elaborazioni.[25] È l'organo chiave della memoria e del senso del tempo. Esso fornisce alla coscienza la continuità della rappresentazione spaziale e del suo svolgi-

mento temporale. I ricordi comprendono lo spazio e il tempo in cui sono stati vissuti.

Le nostre intuizioni (anche geometriche e aritmetiche) si basano sulla conoscenza accumulata lungo milioni di anni in un mondo fisico strutturato spazialmente, temporalmente e numericamente. Il fondamento decisivo delle costruzioni matematiche, che vanno al di là delle intuizioni, è fissato in un insieme di principi fondato durante generazioni di interazioni attraverso la selezione naturale di meccanismi elementari cerebrali di computazione spaziale, temporale e numerica.

Nell'uomo il linguaggio ha conferito alle informazioni elettrochimiche cerebrali della numerosità la simbologia che è diventata, affermano Giorgio Vallortigara e Nicla Panciera, "il terreno sconfinato della matematica, con la sua ormai millenaria storia intellettuale",[26] della quale fa parte l'espressione numerica del senso del tempo. Dal momento che i simboli numerici sono comparsi pochi millenni fa, non è probabile che, per essi, sia emersa una rete neurale specializzata: è più verosimile che vengano utilizzate strutture nervose e cognitive emerse per compiti non numerici. "Strutture nervose [...] *già esistenti* nei cervelli dei nostri antenati", scrivono Vallortigara e Panciera, "devono essersi fatte carico del nuovo sviluppo, del passaggio dalla numerosità approssimata al concetto di numero come entità discreta basata su simboli esterni." Da questo "riciclaggio neuronale" deriva, forse, la difficoltà a imparare la matematica, a differenza della spontaneità con cui si apprende la lingua madre. Lo psicologo Eugène Minkowski[27] distingue l'aspetto spaziale del tempo proprio della fisica – che, da Newton in poi, procede di astrazione in astrazione – dal tempo vissuto, che è flessibile, sostiene, perché modulato dall'affettività.[28] L'uno e l'altro esistono perché li crea il cervello, il primo con la razionalità, il secondo con il contributo dei centri dell'affettività[29] e della memoria, nell'apparente presente della vita, che è un passato ricordato.

Nei topi sono stati individuati meccanismi nervosi congeniti, localizzati prevalentemente nell'ippocampo, nelle aree paraippocampali e nel lobo parietale destro, che trasmettono alla

coscienza il senso dello spazio e della loro posizione da fermi e durante il movimento già pochi giorni dopo la nascita e alla prima esperienza.[30]

Il substrato anatomico e i meccanismi nervosi della cognizione numerica e spaziale sono studiati, nei primati, al livello dei singoli neuroni. L'associazione semantica fra parola e simbolo numerico è un processo di apprendimento che coinvolge prevalentemente la parte anteriore del lobo prefrontale. I centri della conoscenza matematica e i meccanismi sensomotori dello spazio sono situati gli uni accanto agli altri e interagiscono fra loro e con i meccanismi del senso del tempo. Alla domanda di un bambino "Quanto durano 15 minuti?" si può rispondere che è il tempo per arrivare a scuola, cioè il senso del tempo si acquista con esperienze motorie. Il tempo nella vita quotidiana è in parte installato in un atto motorio inserito nello spazio.

Molti matematici riferiscono di "vedere" (quindi nello spazio) le soluzioni dei loro calcoli prima della verifica. C'è chi riesce a fare calcoli mentali complicati con le perle di un pallottoliere immaginario, a conferma che il linguaggio non è necessario per la rappresentazione numerica, nemmeno per quella temporale.

La fisica pone alla biologia altri dilemmi. Il tempo dello spaziotempo – il tempo che scorre a velocità diverse se l'orologio è sul pavimento o sul tavolo, il tempo che è deviato dalla forza di gravità di un buco nero – che cos'ha in comune con il tempo che scandisce l'esistenza e che può essere alterato in uomini e animali da una lesione nervosa, fino a scomparire nella condizione inimmaginabile della *timeless life*, cioè della vita senza tempo? Se il tempo non esiste, come sostiene la fisica,[31] come succede che gli esseri viventi, grazie all'innato senso del tempo, regolino l'esistenza in modo tale da non aver l'impressione che tutto avvenga contemporaneamente? Il tempo, di cui la fisica si occupa per espellerlo dalla realtà, è la creazione cerebrale di una dimensione del reale.

Prima di essere deviato dall'immensa forza di gravità di un buco nero, il tempo doveva essere prodotto dal cervello umano.

10

IL SENSO DEL TEMPO DURANTE IL SONNO

I meccanismi nervosi del senso del tempo funzionano anche durante il periodo senza coscienza del sonno.[1] Non occorre essere coscienti per avere il senso della durata. Dieci persone svegliate dopo un sonno di un'ora ne sbagliavano la durata di meno di un minuto; dopo 4 ore, di 12 minuti.[2] Un autore ha indagato a lungo se stesso concludendo che gli era possibile giudicare con precisione la durata del tempo in cui aveva dormito e che poteva svegliarsi regolarmente all'ora voluta, senza che eventuali sogni interferissero.[3]

Circa il 70 per cento degli esseri umani e quasi tutti coloro che hanno un impegno costante (di regola professionale) di primo mattino, quindi con motivazione rilevante ad alzarsi presto, si svegliano dopo un sonno – indisturbato e senza farmaci, spontaneamente, senza sveglia e non per lo stimolo a urinare – con uno scarto, rispetto all'ora prestabilita, che va dai 15 ai 4 minuti prima del termine e di circa 10 minuti dopo. Il 67 per cento si sveglia durante la fase REM (*rapid eye movement*, movimento rapido degli occhi) del sonno.[4] Di 269 persone interrogate, la metà non usava mai la sveglia e il 24 per cento si svegliava poco prima che suonasse, quando sentiva "l'orologio interno".[5] Alcuni ripetevano fra sé e sé, più volte prima di addormentarsi, l'ora del risveglio.

L'autorisveglio all'ora voluta, anche nel mezzo della notte, è la regola e non l'eccezione. Per sei settimane un marito doveva somministrare alla moglie, ogni 2 ore, un medicamento senza il quale lei sarebbe stata in pericolo di vita. Dal sonno

profondo, senza sveglia, si destava ogni volta puntualmente.[6] Il meccanismo nervoso del passare del tempo è attivo nel sonno, pur rimanendo non cosciente fino al momento della sveglia spontanea. Può essere alterato da sostanze come la caffeina.[7]

L'autorisveglio dipende dal livello di attivazione corticale dei meccanismi della volontà, che ricevono l'informazione da quelli del tempo. Esso sarebbe favorito – non è chiaro come –, a partire da un'ora prima dell'ora prestabilita, dall'aumento dell'adrenocorticotropina nel sangue.[8] Non è un meccanismo sorprendente, se si pensa che l'umanità, fino a poco più di un secolo fa, non aveva a disposizione le sveglie. Esso era la regola, tranne che per i pochi i quali potevano servirsi dell'autorisveglio di qualcun altro.

L'evoluzione ha selezionato i meccanismi del tempo durante il sonno e quelli dell'autorisveglio, senza i quali non ci sarebbero stati caccia e pesca, agricoltura, scuole, battaglie, viaggi, navigazione e molto di ciò che fa parte dell'evoluzione culturale con vincoli temporali più o meno rigorosi. Il vantaggio dei solerti mattinieri è riassunto nell'antico ammonimento "Chi dorme non piglia pesci". Un'altra spinta evolutiva potrebbe essere stata la protezione della durata del sonno. Ci si addormenta tranquilli e si dorme meglio se si è certi di svegliarsi all'ora voluta.

Una conferma che il meccanismo del tempo è attivo durante il sonno è la capacità di molte persone che vengono svegliate di valutare con uno scarto inferiore ai 15-20 minuti che ora sia. La valutazione è più accurata dopo un sonno prolungato e se il risveglio forzato è prossimo a quello previsto.

Un lavoro recente riferisce dell'asimmetria fra gli emisferi cerebrali della profondità del sonno nell'uomo: l'emisfero meno addormentato (di regola il sinistro) reagirebbe prima a eventi esterni e prolungherebbe il tempo necessario a trovare il sonno.[9] Non è inverosimile ipotizzare che i suoi meccanismi del senso del tempo rimangano prevalentemente attivi nel sonno.

Lesioni del cervello alterano i meccanismi del senso del tempo anche durante il sonno. Ecco alcuni esempi.

Un meccanico, 60 anni, si sveglia poco prima di mezzanotte, si sbarba, si lava e si veste, convinto che sia mattina e che sia ora di andare a lavorare. Un evento del genere è certamente patologico, perché chi è svegliato di soprassalto si sbaglia nella stima dell'ora al massimo di 15-20 minuti.[10] Si muove e agisce senza impacci. La moglie riesce a tenerlo in casa, e ciò gli provoca agitazione e ansia. Si riaddormenta e al mattino è convinto che sia sera. La moglie si accorge che non distingue un'ora da molte ore e che l'informazione "Fra un'ora dobbiamo essere nel tal posto" non ha per lui alcun senso. Nei due giorni successivi, la distorsione del senso del tempo si aggrava, senza che lui se ne accorga e che se ne lasci convincere. La comparsa di una debolezza della parte sinistra del corpo – di cui è consapevole – porta al ricovero in ospedale, e poi all'operazione e alla radio- e chemioterapia di un voluminoso tumore maligno dell'emisfero cerebrale frontale destro, che fino all'improvvisa distorsione del senso del tempo non aveva provocato disturbi. L'emiparesi scompare dopo le cure e la distorsione del tempo – dice la moglie – diminuisce. Tre mesi dopo la conclusione delle cure non sa valutare la durata, per esempio, di una conversazione. Dorme senza interruzioni per 6-8 ore. Alla domanda "Da quanto tempo stiamo parlando?" risponde "Tre quarti d'ora", mentre sono 10 minuti. "Sabato può andare a casa", gli comunica il medico del reparto. "Quand'è sabato? Domani, fra tre giorni, dopodomani?". Il paziente riflette per circa un minuto, poi risponde correttamente: "Dopodomani". Anche la figlia è stata operata al cervello: "Quando?". Risponde: "Tre anni fa". In realtà sono sei. Non è consapevole del disturbo residuo del senso del tempo.

Cinque anni dopo un ictus cerebrale destro, un uomo di 68 anni si riprende dalla paralisi della parte sinistra al punto da poter guidare automobile e motocicletta. Da allora è torturato dal disturbo del senso del tempo, che si manifesta da sveglio con l'impossibilità di sentire la differenza fra un'ora o mezz'ora e nel sonno con l'autorisveglio alle quattro del mattino pur sapendo di avere un appuntamento alle otto.

Il paziente, 50 anni, è colpito da un attacco generalizzato di epilessia senza prodromi. La causa è un glioma temporale sinistro. Sono necessarie operazioni per asportare il tumore e dopo tre anni la recidiva. Dopo la seconda operazione viene eseguita la chemioterapia. Dopo il primo ciclo di cinque mesi, riferisce che per tutto il periodo della cura il tempo era molto rallentato. Un'ora gli sembrava durare almeno il doppio. Se, durante il giorno, si coricava e dormiva per mezz'ora, si risvegliava sicuro di aver dormito per ore. Due settimane dopo la fine della cura, il senso del tempo è di nuovo normale.

Sette di otto pazienti con disturbo del sonno (narcolessia, cataplessia, sonnolenza prolungata)[11] avvertono, spesso con fastidio, l'accelerazione del tempo (15 minuti avvertiti come 5; 40 come 15), con accentuazione verso sera. Solo in un paziente il tempo è rallentato (20 minuti avvertiti come 35). Il momento del risveglio dal sonno patologico durante il giorno è sempre anticipato, a volte anche di un'ora, tranne che nel paziente con il rallentamento del tempo, nel quale è posticipato di una decina di minuti.

Non sono solo i meccanismi del senso del tempo a funzionare durante il sonno: l'importanza del sonno nella stabilizzazione dei ricordi, per esempio, è esperienza comune confermata da moltissime ricerche. La consolidazione dei ricordi nel sonno avviene prevalentemente per l'attività intensa dell'ippocampo e delle aree paraippocampali.[12] Esse sono organi chiave della memoria e del senso del tempo. Quando, a scuola, si usava imparare le poesie a memoria, non c'era niente di meglio che leggerle e rileggerle più volte prima di dormire. Al mattino dopo fluivano senza inciampi.

Le emozioni, spesso, hanno un peso diverso dopo il sonno. Il proposito "Voglio dormirci sopra", espresso prima di una decisione, significa affidarsi ai meccanismi della razionalità e dell'affettività attivi nell'incoscienza del sonno, che un autore dell'Ottocento chiamò *unconscious cerebration*.[13]

Quale sia il significato del sonno per il senso del tempo è confermato dall'insonnia.[14] Essa provoca un rallentamento, anche notevole, del senso del tempo. In trenta giovani sani, il rallentamento, con oscillazioni nel ciclo di 24 ore, è stato registrato durante 60 ore di veglia forzata, controllando la valutazione soggettiva di 10 secondi. Più lunga l'insonnia, più lento lo scorrere del tempo. Al terzo giorno il ritardo era quasi raddoppiato rispetto al primo. Il rallentamento era ancora più marcato se la temperatura cutanea si abbassava.[15] Questa è una conferma del rischio e del pericolo dell'insonnia in condizioni che richiedono efficienza e un'accurata valutazione del tempo (alla guida, in attività delicate che richiedono estrema precisione e decisioni rapide come la chirurgia, la meccanica di precisione, le indagini biologiche ecc). L'insonnia è pericolosa perché aumenta

la differenza fra il tempo oggettivo, in cui avvengono gli eventi che richiedono la nostra attenzione, e il tempo soggettivo, che regola la maggior parte delle nostre azioni.

11

IL TEMPO DEL CERVELLO AMMALATO DI TUMORE MALIGNO

Circa un terzo dei tumori del cervello è costituito da gliomi (cioè tumori della glia, che è parte della corteccia cerebrale) più o meno maligni, e la metà di loro, i glioblastomi, sono fra i tumori più maligni. L'età d'insorgenza va dai 50 ai 60 anni. Ammalano di glioblastoma da 5 a 7 persone su 100.000 ogni anno. La terapia (operazione, radio- e chemioterapia) può prolungare la sopravvivenza, ma la loro crescita o ricrescita è inevitabile.[1]

I glioblastomi possono insorgere in ogni parte della corteccia cerebrale, e crescono rapidamente, in poche settimane. Il focolaio iniziale è, di regola, apparentemente circoscritto, ma si tratta, in realtà, anche nello stadio iniziale, di una malattia diffusa della glia. Non esiste rapporto costante fra sede e dimensione della lesione iniziale e disturbo del senso del tempo, che potrebbe essere causato in tutto o in parte da altre regioni cerebrali già lese dal tumore, anche se la lesione non è ancora visibile nelle indagini diagnostiche.[2]

Quattordici pazienti con glioblastoma sono stati seguiti in ospedale e negli ambulatori fino al completamento della cura, con particolare riferimento, nei colloqui e nelle visite, al senso del tempo. Dodici di loro hanno detto spontaneamente di apprezzare i colloqui sul disturbo del tempo. Non ne modificavano il decorso, ma li aiutavano a capirlo e a controllarlo. Ecco alcuni esempi dei modi in cui è alterato il senso del tempo in questa implacabile malattia.

Tre settimane prima che un feroce mal di testa e un calo della memoria a breve termine portassero alla diagnosi di glioblastoma del-

la parte anteriore del lobo temporale destro, il paziente, 58 anni, ha improvvisamente la sensazione che tutto avvenga al rallentatore. Venti minuti gli sembrano all'inizio 30-40; dopo pochi giorni sono quasi un'ora. La differenza fra durata sentita e durata reale lo mette in difficoltà a casa e sul lavoro e lo rende impaziente, agitato, insicuro. Dopo l'operazione e la radioterapia, il rallentamento del tempo è soggettivamente regredito, ma di poco, e rimane fastidioso. Nei test è invariato. L'orientamento nello spazio, nonostante i disturbi dell'equilibrio, e anche, *grosso modo*, del tempo, è conservato: sa se è mattina, pomeriggio o sera nonché il giorno del mese e della settimana. Senza orologio si sente perduto.

Una donna di 70 anni, a partire da circa quindici giorni prima dell'emorragia cerebrale all'interno di un glioblastoma della parte anteriore del lobo temporale sinistro, cominciò a lamentarsi di un'accelerazione del tempo, specie al mattino, quando le sembrava di non riuscire a concludere niente. Dopo l'operazione, oltre all'accelerazione del tempo, invariata, la paziente poteva sbagliarsi – riferiva il figlio – nella percezione del corso della giornata anche di 3 o 4 ore, a volte anche di più, come se in quel periodo le mancasse il senso del tempo. La sensazione della mancanza del senso dello scorrere del tempo le causava agitazione e nervosismo. Pronunciava le parole a gran velocità, ma con una pausa, spesso lunga, fra una parola e l'altra, segno non infrequente in lesioni dell'emisfero cerebrale sinistro.[3]

La paziente, 77 anni, è stata operata di glioblastoma temporale destro, diagnosticato dopo un attacco epilettico. Dopo l'intervento ha ricevuto radio- e chemioterapia. L'ammalata, visitata regolarmente a partire da due mesi e mezzo dopo l'intervento, e il marito riferiscono della sua indifferenza per il tempo già dall'infanzia. Mai puntuale, sempre in ritardo. Oggi, tutto l'opposto. Dopo l'operazione, il senso prospettico del tempo, se non sparito, è molto alterato: se ha un appuntamento, comincia ad agitarsi 4-5 ore prima per paura d'arrivare in ritardo. La signora è vivace, precisa nelle risposte, consapevole del difetto temporale, orientata nello spazio e circa il giorno della settimana e del mese.

A partire da circa sei mesi prima della diagnosi di tumore semimaligno del talamo destro, la paziente, 64 anni, avverte un rallentamento e un'alterazione del senso retrospettivo del tempo, spesso di ore ma, a volte, anche di anni. Eventi – anche rilevanti – di quattro e più anni prima, raccontati con precisione, vengono collocati in un passato di due anni al massimo. A volte il ricordo, pur dettagliato, è senza tempo. L'orientamento spaziotemporale è normale.

Circa tre settimane prima dell'operazione di un glioblastoma del polo frontale sinistro, che ha causato due attacchi epilettici, il paziente, 62 anni, perde rapidamente il senso del tempo. La moglie riferisce che, improvvisamente, non sa se sia mattina o sera. Il malato ne è consapevole e ricorre continuamente a orologi e sveglie. Sette mesi dopo l'intervento, radio- e chemioterapia, il disturbo è invariato.

Circa un mese prima dell'intervento per un glioma maligno del lobo temporale sinistro, il paziente, 61 anni, oltre al fastidioso disturbo di non comprendere subito quel che legge e sente, avverte la difficoltà sempre più evidente del senso temporale: non sa che ora sia, ha dubbi sul giorno, sulla durata, sul tempo dei ricordi. Tutti i disturbi regrediscono dopo l'intervento, radio- e chemioterapia.

Primi disturbi tre settimane prima della biopsia cerebrale: la paziente, 58 anni, dirigente di proverbiale correttezza e operosità in un grande magazzino, improvvisamente "non è quasi mai al posto giusto nel momento giusto; c'è spesso prima, a volte molto prima, più spesso dopo o molto dopo". Spiega al superiore, sorpreso, che l'ha richiamata, la difficoltà crescente a orientarsi nel tempo e la debolezza alla gamba sinistra quando cammina, che la fa deviare verso destra. Il marito racconta il disorientamento temporale nelle faccende domestiche, per le quali deve ricorrere, come mai prima, a sveglie e orologi. Incertezza se è mattino, pomeriggio o sera. Il tempo le sembra scorrere lentamente. Indebolimento rapido della memoria a breve termine, fino ad avere difficoltà a finire una frase perché ne ha dimenticato l'inizio. Insorge una crisi di natura verosimilmente epilettica, con stato confusionale e paresi grave della parte sinistra del corpo. La risonanza magnetica nucleare mostra un tumore nella parte interna del lobo frontale destro, che si estende attraverso il corpo calloso in quello sinistro, con l'aspetto tipico del glioblastoma, confermato dalla biopsia. Trattamento con radio- e chemioterapia e cortisone. Dopo cinque settimane: ben presente e interessata al dialogo, risponde alle domande coerentemente, con lentezza. Minima debolezza della gamba destra, che non le impedisce di muoversi da sola. Mese e giorno della visita sono corretti, ma riferiti all'anno prima. Sa esattamente d'aver aspettato 20 minuti in sala d'aspetto, i primi 5 minuti di colloquio le sembrano 15-20, anche se li definisce gradevoli. Ha segnato l'ora in cui prendere le medicine e non ha mai sbagliato. Riferisce che quando si sveglia dal sonno pomeridiano, di circa 3 ore, non ha idea di che ora possa essere e a volte crede che sia il risveglio del mattino. Succede sempre più di rado. Ha appeso "un grande orologio" nel soggiorno per poterlo vedere da ogni angolo.

Trentaquattro settimane prima dell'operazione per un glioblastoma frontale sinistro, il paziente, 57 anni, non sa più se sia mattina, pomeriggio o sera. Dà appuntamenti impossibili, come, per esempio, subito dopo la telefonata o a un momento precedente. All'inizio, il contenuto delle conversazioni è plausibile e coerente – a eccezione del tempo – poi non più. Poche settimane dopo l'intervento la risonanza mostra due focolai di un tumore anche nell'emisfero destro. Radio- e chemioterapia. Dopo dieci mesi invalidità totale.

Il resoconto del disturbo del senso del tempo è, in molti pazienti, vago, emotivo, privo o quasi di particolari. Il paziente lo avverte come molto fastidioso. La descrizione è quasi altrettanto poco dettagliata anche da parte di pazienti che si sono ripresi dopo le cure, come se il disturbo o l'assenza del senso del tempo fossero condizioni che la coscienza non riesce ad afferrare. Lo stesso avviene, spesso, in chi ha superato un periodo di afasia dopo un ictus. Non può riferire se non sommariamente della situazione nella quale si trovava quando non riusciva a parlare. Non esiste linguaggio per descrivere la sua mancanza e per descrivere la mancanza del senso del tempo (la *timeless life* degli autori anglofoni).

È frequente che individui con tumori maligni cerebrali, nelle ultime settimane o nei pochi mesi in cui restano coscienti, scivolino progressivamente in un'atemporalità quasi continua, in una vita senza tempo, anche se sono presenti e capaci di contatto e di curiosità, come alcuni nostri pazienti che si sforzavano di leggere il giornale. A volte l'atemporalità può essere l'aspetto più rilevante della loro tragica condizione. Nelle fasi terminali di malattie tumorali in malati coscienti, il senso del tempo cambia, soprattutto perché viene meno la dimensione del futuro. "Le giornate si sono accorciate di molto, [...] il tempo ha cominciato a sembrarmi statico", scrisse un neurochirurgo che stava morendo a 37 anni di carcinoma polmonare con metastasi in molti organi, anche nel cervello.[4]

12

NON CI POSSIAMO CONGEDARE DAL TEMPO

Gli studi sul tempo pongono un dilemma paradossale, specie per chi ci si dedica con ricerche di neuroscienza cognitiva: e se avessero ragione quei fisici che – da Einstein in poi, e in particolare con la gravità quantistica – sostengono che il tempo non esiste?

Secondo la relatività generale, il passaggio del tempo non è una caratteristica oggettiva e fondamentale della realtà, ma un'etichetta che può variare senza che cambino i fatti fisici. I meccanismi nervosi che producono il senso del tempo sono, però, reali. La realtà del tempo è diversa dalla realtà degli oggetti circostanti. Gli oggetti si vedono e si toccano, cioè si percepiscono, il tempo è un contenuto della coscienza creato da meccanismi cerebrali. Se il tempo non esiste, che cosa s'illude di trovare la scienza biologica che lo indaga? È già stato sottolineato che la sopravvivenza di un animale senza meccanismi dell'orientamento temporale e spaziale nonché di una valutazione numerica quantomeno elementare (ma sempre complessa) non sarebbe possibile. L'evoluzione di questi meccanismi si rintraccia a partire da cervelli e da sistemi nervosi minuscoli e antichissimi, a conferma che non sono solo nel cervello umano. Sono meccanismi primordiali dell'esistenza animale che si sono evoluti con essa. L'esperienza consapevole o inconscia (durante il sonno) del senso del tempo – flessibile a seconda delle percezioni, del rapporto di causalità, dello stato d'animo, della condizione ambientale, della riflessione, del carattere, della temperatura esterna e di quella del corpo – è una delle catego-

rie naturali indispensabili alla vita, più del tempo "assoluto" misurato da un artefatto ideato dal cervello, l'orologio. Con il tempo assoluto si misurano gli eventi materiali e fisici; il senso del tempo scandisce la fenomenologia della vita. E allora, come la mettiamo con la fisica, che sostiene, con equazioni, che il tempo è un'illusione "testardamente ostinata", come diceva Einstein?

IL TEMPO RITORNA?

Nel 1910 il fisico teorico Sean Carroll aveva sostenuto la realtà del tempo, perché tale concetto, come quello di realtà dello spazio, è "utile per una migliore comprensione del modo in cui l'Universo lavora [...] e svolge un ruolo importante nel nostro modo di percepire il mondo. [...] In tutte le nostre teorie [...] il tempo svolge un ruolo centrale".[1] Per Lee Smolin,[2] studioso d'alto rango di fisica quantistica, cioè di una disciplina che ha espulso il tempo dalla natura, l'eliminazione del tempo non è una visione profonda della realtà, ma la conseguenza del metodo con cui la fisica seleziona frammenti dell'Universo in un subsistema di studio. Lo stesso dubbio aveva sfiorato il fisico quantistico John S. Bell, secondo il quale "la meccanica quantistica, in circostanze sufficientemente critiche, potrebbe essere *sbagliata*", fra l'altro per "la completa assenza, negli esperimenti esistenti, del fondamentale fattore *tempo*".[3] Ogni esperimento di fisica, sostiene Smolin, avviene "in a box", in una scatola, e per questo non può che essere una drastica approssimazione della realtà, a opera di un sistema autoreferenziale isolato dal resto dell'Universo. Il successo della fisica a partire da Galileo è dovuto alla sistematica concentrazione su una minuscola porzione della complessità dell'Universo. Questa è la sua forza e la sua debolezza. Il tempo non solo è reale, per Smolin, ma nulla di ciò che avviene nella nostra esperienza si avvicina al cuore della natura più della realtà del tempo. Quel che abbiamo descritto dei meccanismi nervosi del tempo e dei suoi disturbi in caso di malattie del cervello corrobo-

ra questa convinzione. Le leggi di natura non sono universali, cioè fuori del tempo, anche se questa illusione è una delle grandi attrattive della ricerca scientifica. Prima che strutturale, la cosmologia – dicono il filosofo Roberto M. Unger e il fisico e cosmologo Lee Smolin – dovrebbe essere una scienza storica: abbiamo tutte le ragioni per credere che il presente dell'Universo sia diverso dai suoi inizi. L'emergere del nuovo si ripete continuamente e non solo nella natura vivente. La recente conferma delle onde gravitazionali ne è una riprova. La preminenza del divenire sull'essere è universale: tutto cambia, anche il cambiamento e il tempo. Per convincersene, dice Smolin, basta pensare all'evoluzione naturale: come possiamo ordinare le fasi dell'evoluzione della natura vivente, con le sue profonde trasformazioni, se non in un quadro di riferimento nel quale collochiamo cose ed eventi secondo la sensazione, gli indizi e le prove che uno viene dopo l'altro? Il quadro di riferimento è il tempo, e negarlo, per Smolin, rappresenta una distorsione della realtà. Abbiamo già riferito la saggia opinione di Smolin secondo cui la cultura contemporanea è caratterizzata dall'incoerenza, nonostante l'insistenza sulla interdisciplinarità del movimento cibernetico, perché chi lavora in un campo ignora ciò che stanno cercando coloro che lavorano in un altro ambito. I dati delle neuroscienze sono inconciliabili con l'inesistenza del tempo, e la fisica, barricata – direbbe Smolin – nella sua "box", li ignora. Per Smolin l'eliminazione del tempo, a opera della fisica, con equazioni e ignorando la realtà, è un'illusione.[4]

Le neuroscienze non hanno preso in considerazione l'opinione della fisica sul tempo e sulla sua non esistenza, convinte di avere la prova del contrario. Il tempo è reale, e non emerge da altre categorie della natura, nemmeno dallo spazio e dalla numerosità, benché fra i tre ambiti vi sia un collegamento dovuto alle aree cerebrali, in parte comuni, che li alimentano. Il tempo è una caratteristica reale dell'Universo, dal momento che i sistemi nervosi che lo realizzano, nell'uomo e in molte specie animali – come abbiamo visto nei diversi esempi proposti nel capitolo 9 –, sono componenti dell'Universo. L'evoluzione, impossibile da immaginare – afferma Smolin – senza il tempo,

ha selezionato il meccanismo nervoso del tempo che consente alla coscienza di ordinare la successione del reale. La coscienza, cioè il cervello, di cui essa è un prodotto, ha dato una misura numerica, oggettiva, assoluta al tempo (il GT, *government time*), sulla quale si basa l'ordine sociale. Il tempo esiste da quando l'uomo è autocosciente; da quando, cioè, è in grado di porre la coscienza a oggetto della propria riflessione. Nel tempo assoluto (GT) e in quello fenomenologico (il PT, *personal time*), i meccanismi nervosi del tempo collocano l'esistente. È naturale che ci si chieda che cosa ci fosse *prima* del Big Bang.[5] La domanda rimane senza risposta, perché il *prima* e il *dopo* sono stati prodotti da sistemi nervosi, per dare un ordine alla percezione della realtà e di se stessi, miliardi di anni dopo l'attimo iniziale. Subito dopo il Big Bang, il tempo – ipotizzano alcuni astrofisici – sarebbe stato lentissimo. La lentezza di quel tempo remoto è valutata secondo il tempo creato molto tempo dopo dal cervello, e ora è proiettata all'indietro fino al Big Bang.

UN PRIMO INCONTRO

Per saggiare la possibilità di un approccio comune di fisica e di biologia al tempo, si sono incontrati cinque filosofi della scienza: due fisici (uno dei quali allievo di Smolin), un matematico, un cosmologo, due neurolinguisti e due neuropsicologi.[6] Ciascuno studioso ha considerato la propria disciplina, e l'approccio interdisciplinare è stato solo sfiorato, per la difficoltà di penetrare in discipline estranee alla propria. Fa parte della natura e della storia della scienza – ha detto un interlocutore – un periodo di confusione e di disaccordo sulla natura dei "fatti" quando si è alle prese con una teoria nuova, tanto più se questa si profila come rivoluzionaria. L'incontro ha avuto spunti produttivi. Nuova – sulla scia di Lee Smolin – è la critica radicale di alcuni fisici all'espulsione del tempo dall'Universo. Il fisico teorico George Francis Rayner Ellis[7] sostiene che la fisica non può continuare a ignorare la realtà del tempo. In questo modo, essa trascura un evento essenziale della biologia e uno de-

gli aspetti più incisivi dell'esperienza. Ellis propone, con dettagli e analisi tecniche, una forma evolutiva dello spaziotempo che si allarga al futuro a mano a mano che il tempo scorre. Altri, come la fisica Fay Dowker,[8] concepiscono uno spaziotempo fondamentalmente atomico che comprende lo scorrere del tempo nella forma della nascita di atomi. Il cosmologo inglese Edward Anderson,[9] con molta matematica, inserisce il tempo nella relatività generale. Nessuno di loro accenna al tempo come evento del sistema nervoso. I neuropsicologi Thomas Muller e Anna C. Nobre[10] tracciano un profilo attuale della neurobiologia del senso del tempo fornendo alcuni esempi della sua compressione. Il senso del tempo di un'esperienza, quale che sia, non è lineare, perché può essere distorto secondo il tipo di percezione. Ciò è possibile grazie a meccanismi nervosi specifici che fanno del senso del tempo la realtà che conosciamo e nella quale viviamo. La varietà e la flessibilità del senso del tempo escludono che esso sia regolato da un unico meccanismo centrale: l'opinione corrente è che, analogamente al linguaggio, a esso concorrano diverse aree corticali di entrambi gli emisferi, i gangli della base e gli emisferi del cervelletto. Una lesione circoscritta del cervelletto, per esempio, fece di una persona sempre puntuale un cronico ritardatario. Da oltre un decennio uno dei temi della neurobiologia del tempo è capire in quale degli emisferi cerebrali vengano elaborate prevalentemente le dimensioni emotive e quelle razionali del senso del tempo.[11]

Dal momento che non esistono due cervelli uguali, il senso fenomenologico del tempo è diverso da persona a persona. Fenomenologia e fisiologia dell'evento nervoso del senso del tempo e dell'evento razionale del tempo assoluto non sono un'illusione.

Il fisico Steven Weinberg sostiene che la validità di ogni principio generale della biologia si basa sui principi fondamentali della fisica, di per sé inspiegabili, e su accidenti come l'impatto di un asteroide con la Terra 65 milioni di anni fa. La materia vivente segue gli stessi principi di quella inerte. È il principio della metodologia della scienza della riduzione di ogni evento, anche immateriale come il pensiero, agli eventi fi-

sici che lo determinano. Il riduzionismo (o fisicalismo, per le neuroscienze) è prezioso perché, oltre alle regole della ricerca, ribadisce i limiti della conoscenza. Come esempio, Weinberg porta l'impossibilità di descrivere i contenuti della coscienza in termini fisici.[12] Giusto, ma se la psicologia è biologia e la biologia è basata sulla fisica, la fisica non può escludere con calcoli matematici la realtà del tempo. Il filosofo americano Nick Huggett ha ammonito che una fisica che rimetta nell'Universo il tempo della neurobiologia comporta revisioni radicali della maggior parte dei suoi fondamenti matematici.[13] Il fisico John Archibald Wheeler, nel diario sterminato conservato nella biblioteca dell'American Philosophical Society a Filadelfia, annotò, l'8 novembre 2005: "Da dove vengono lo spazio e il tempo? [...] Se siamo quelli che 'costruiscono' lo spaziotempo [ipotesi che egli sembra condividere], perché non abbiamo così tanti spazitempi quante sono le persone? Perché solo uno?".[14] Non conoscendo la neuroscienza del tempo, Wheeler non sapeva che ogni cervello ha un suo senso soggettivo del tempo, e che il tempo assoluto era stato codificato con gli orologi come valido per tutti.

Abbiamo visto che il fisico Carlo Rovelli sostiene, con molti suoi illustri colleghi da un secolo a questa parte, che "è necessario imparare a pensare il mondo in termini non temporali." Dal momento che i meccanismi del senso del tempo sono distribuiti in gran parte del cervello, e che essi funzionano spontaneamente, per pensare la realtà senza tempo bisognerebbe cambiare il cervello. Impresa tanto più disperata in quanto dovrebbe essere il cervello a cambiare se stesso.

Non è possibile né opportuno prendere congedo dal tempo.

13

FINALE

Non possiamo congedarci dal tempo perché la realtà del tempo, e del senso che la coscienza ne ha come sua componente essenziale, è un'evidenza della vita. L'organizzazione nervosa dei meccanismi del tempo è complessa e si estende dai lobi prefrontali al cervelletto. Per estensione e per i collegamenti con i centri della memoria, dell'emotività e della razionalità, essa è paragonata al linguaggio, di cui il tempo è uno dei tralicci. Un rapporto anatomico e funzionale rilevante esiste con il meccanismo cerebrale congenito del senso dello spazio, nel quale è inserita la realtà così com'è percepita e trasmessa alla coscienza dagli organi di senso. È stata ricordata in precedenza l'osservazione dell'astrofisico Arthur Eddington secondo cui l'uomo, "in ogni sua fibra", sente che spazio e tempo sono diversi. Sentiamo la differenza non nelle nostre fibre, ma grazie ai meccanismi della coscienza, diversi per l'esperienza dello spazio e per quella del tempo. Lo spazio tridimensionale in cui la coscienza ci fa vivere è prodotto da meccanismi nervosi congeniti, presenti negli esseri viventi che si muovono e trasmessi da una generazione all'altra. Essi sono emersi nel corso dell'evoluzione come artefici del senso dello spazio più idoneo alla vita, nel quale sono collocati cose ed eventi percepiti. Il tempo, anch'esso categoria dell'esperienza, non si percepisce ma si sente. La differenza è talmente radicale che spazio e tempo sono e rimarranno separati fin quando il cervello è com'è ora.

L'evoluzione ha selezionato meccanismi nervosi che trasmettono alla coscienza lo spazio tridimensionale della Ter-

ra piatta e del Sole che le gira intorno: in questo spazio, che i meccanismi cerebrali della razionalità hanno dimostrato essere irreale, l'uomo si trova molto più a suo agio di quanto si troverebbe se avvertisse di girare a velocità folle su un frammento di sfera che, in un anno, fa un giro intorno al Sole. Nel senso dello spazio è collocato ciò che è percepito, mentre il tempo è sempre e solo sentito perché proviene dai meccanismi del cervello. I centri dello spazio entrano in azione una volta maturati in seguito all'esperienza, con un'interessante analogia con i centri del linguaggio, che nascono con una struttura particolare (che, per Noam Chomsky, è il fondamento anatomico della grammatica universale),[1] presente solo negli esseri umani. Essa entra in funzione solo se stimolata dal linguaggio dell'ambiente in cui si cresce. Non esiste una lingua spontanea del cervello, ma la struttura altamente specifica per acquisirla. Il senso del tempo è invece presente anche senza esperienza dell'ambiente.

Una parte importante e produttiva delle neuroscienze cognitive è impegnata nello studio della neurobiologia del tempo. La complessità dei meccanismi nervosi del senso del tempo è tale che ancora oggi diversi dilemmi fondamentali rimangono oscuri. Nonostante questo, la neurobiologia del tempo è certamente uno dei meccanismi fondamentali della coscienza.

NOTE

I. IL TEMPO

1. I. Kant, *Critica della ragion pura*, ed. it. a cura di G. Colli, Bompiani, Milano 1987, vol. 1, pp. 86 sgg.; 205.
2. C. Lévi-Strauss, *Siamo tutti cannibali*, tr. it. il Mulino, Bologna 2015, pp. 77 sgg.
3. W. James, "The perception of time", in *The Principles of Psychology*, Henry Holt and Company, New York 1890 (ed. consultata Dover, New York 1950, 2 voll., vol. 1, pp. 605 sgg.).
4. E. Minkowski, *Il tempo vissuto. Fenomenologia e psicopatologia*, tr. it. Einaudi, Torino 2004.
5. E. Husserl, *Texte zur Phänomenologie des inneren Zeitbewusstseins (1893-1917)*, Meiner, Hamburg 1985.
6. H. Bergson, W. James, *Durata reale e flusso di coscienza. Lettere e scritti (1902-1939)*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2014.
7. M. Heidegger, *Essere e tempo*, tr. it. Mondadori, Milano 2006.
8. P. Ricoeur, *Tempo e racconto*, tr. it. Jaca Book, Milano 1986-1993, 3 voll., in particolare vol. 3.
9. N. Elias, *Saggio sul tempo*, tr. it. il Mulino, Bologna 1986.
10. E. Husserl, *Texte zur Phänomenologie des inneren Zeitbewusstseins (1893-1917)*, cit., pp. 191 sgg. Vedi anche A. Sparzani, *Relatività, quante storie. Un percorso scientifico-letterario tra relativo e assoluto*, Bollati Boringhieri, Torino 2003, pp. 28, 145 sgg.
11. J. Lehrer, *Proust era un neuroscienziato*, tr. it. Codice, Torino 2008.
12. Th. Mann, *La montagna magica*, tr. it. Mondadori, Milano 2010, pp. 148 sgg.
13. H. Arendt, M. Heidegger, *Lettere (1925-1975)*, tr. it. Edizioni di Comunità, Torino 2001 (ed. consultata *Briefe (1925-1975) und andere Zeugnisse*, Klostermann, Frankfurt a.M. 1998, p. 40).
14. P. Fraisse, "Perception and estimation of time", in *Annual Review of Psychology*, 35, 1984, pp. 1-36, DOI: 10.1146/annurev.ps.35.020184.
15. F. Arntzenius, *Space, Time & Stuff*, Oxford University Press, Oxford-New York 2012, in particolare pp. 153 sgg.

16. E. Tulving, "Episodic memory: From mind to brain", in *Annual Review of Psychology*, 53, 2002, pp. 1-25.
17. C. Rovelli, *Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio?* Di Rienzo, Roma 2004, pp. 40-46.
18. C. Rovelli, *La realtà non è come ci appare. La struttura elementare delle cose*, Raffaello Cortina, Milano 2014, pp. 153-169; *Sette brevi lezioni di fisica*, Adelphi, Milano 2014, pp. 64-69.
19. St.W. Hawking, R. Penrose, "The nature of space and time", in *Scientific American*, 275, 1, 1996, pp. 60-65.
20. E. Carrera, G. Tononi, "Diaschisis: Past, present, future", in *Brain Neurology*, 137, 2014, pp. 2408-2422, DOI: 10.1093/brain/awu101; M. Thiebaut de Schotten et al., "Visualization of disconnection syndromes in humans", in *Cortex*, 44, 8, 2008, pp. 1097-1103.
21. Vedi P. Stern et al., *The Heavily Connected Brain*, numero speciale di *Science*, 342, 6158, 2013; S. Jbabdi et al., "Measuring macroscopic brain connections in vivo", in *Nature Neuroscience*, 18, 11, 2015, pp.1546-1555; H. Duffau, "Stimulation mapping of white matter tracts to study brain functional connectivity", in *Nature Review Neurology*, 11, 2015, pp. 255-265.
22. M.J. Allman, W.H. Meck, "Pathophysiological distortions in time perception and timed performance brain", in *Brain*, 135, 2012, pp. 656-677.
23. Agostino di Ippona, *Confessioni*, ed. it. a cura di G. Chiarini, Fondazione Valla-Mondadori, Milano 1996, vol. 4 (libri X-XI), XI, XIV/17; XI, XVII/23, pp. 126 sgg., 132 sgg.
24. M. Planck, *Where Is Science Going?* Allen & Unwin, London 1933.
25. J.A. Wheeler, citato in J. Horgan, *La fine della scienza*, tr. it. Adelphi, Milano 1998, pp. 134 sgg.
26. N.S. Yanofsky, *The Outer Limits of Reason. What Science, Mathematics, and Logic Cannot Tell Us*, MIT Press, Cambridge (MA)-London 2013.

2. UN ACCENNO ALLA COSCIENZA

1. J.R. Searle, "How to study consciousness scientifically", in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 353, 1998, pp. 1935-1942; *Vedere le cose come sono. Una teoria della percezione*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2016, pp. 51 sgg. Vedi anche M. Cavey et al., "Circadian rhythms in neuronal activity propagate through output circuits", in *Nature Neuroscience*, 19, 2016, pp. 587-597.
2. A. Reinberg, *Dai ritmi biologici alla cronobiologia*, tr. it. Il Ponte Editore, Milano 1974; W.B. Kristan, "He's got rhythm: Single neurons signal timing on a scale of seconds", in *Nature Neuroscience*, 1, 1998, pp. 543-645; R.M. Buijs, A. Kalsbeek, "Hypothalamic integration of central and peripheral clocks", in *Nature Review Neuroscience*, 2, 2001, pp. 521-526; M.H. Hastings, A.B. Reddy, E.S. Maywood, "A clockwork web: Circadian timing in brain and periphery, in health and disease", in *Nature Review Neuroscience*, 4, 2003, pp. 649-661; W. Kinnebrock, *Dove va il tempo che passa. Fisica, filosofia e vita quotidiana*, tr. it. il Mulino, Bologna 2013, pp. 123 sgg.

3. L'ENIGMA DEL TEMPO

1. H. Nichols, "The psychology of time", in *The American Journal of Psychology*, 3, 1891, pp. 453-529.
2. H. Lenz, *Universalgeschichte der Zeit*, Marix Verlag, Wiesbaden 2013, pp. 14-15; Th. De Padova, *Leibniz, Newton und die Erfindung der Zeit*, Piper, München-Zürich 2013, in particolare pp. 15, 114 sgg., 161 sgg., 197 sgg.
3. M.R. Antognazza, *Leibniz. Una biografia intellettuale*, tr. it. Hoepli, Milano 2015 (ed. consultata *Leibniz. An Intellectual Biography*, Cambridge University Press, Cambridge-New York 2009, pp. 531 sgg., in particolare pp. 536 sgg.).
4. P. Halpern, *I dadi di Einstein e il gatto di Schrödinger. Due menti geniali alle prese con gli enigmi della fisica contemporanea*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2016, pp. 49 sgg.
5. Vedi P.J. Nahin, *Time Travel. A Writer's Guide to the Real Science of Plausible Time Travel*. Johns Hopkins University Press, Baltimore 2011, pp. 73 sgg.
6. S., "Four-dimensional space", in *Nature*, 31, 1885, p. 481.
7. H. Minkowski, "Raum und Zeit", intervento all'Assemblea degli scienziati della natura, Colonia, 21 settembre 1908.
8. A.S. Eddington, *La natura del mondo fisico*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1987, pp. 42 sgg.
9. P.J. Nahin, *Time Travel. A Writer's Guide to the Real Science of Plausible Time Travel*, cit., pp. 68 sgg.
10. J.M.E. McTaggart, "The unreality of time", in *Mind*, 17, 68, 1908, pp. 457-474; "Time", cap. 33 in *The Nature of Existence*, Cambridge University Press, Cambridge (MA) 1927, ristampato con il titolo "The unreality of time" in R. Le Poidevin, M. MacBeath (a cura di), *The Philosophy of Time*, Oxford University Press, Oxford 1993, pp. 23 sgg.
11. K.S. Thorne, *Black Holes and Time Warps Einstein's Outrageous Legacy*, Norton & Co., New York 1994, pp. 476 sgg.

4. ALLA RICERCA DEL TEMPO PERDUTO

1. "Eine so merkwürdige Entdeckung spricht durch das Erstaunen, das sie erregt", citato in L. Koenigsberger, *Hermann von Helmholtz*, Vieweg, Braunschweig 1902, vol. 1, p. 118.
2. E. Jurkowitz, "Helmholtz and the liberal unification of science", in *Historical Studies in the Natural Sciences*, 32, 2002, pp. 291-317.
3. F. Mondella, "Il sorgere della nuova fisiologia ottocentesca", in L. Geymonat, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, Garzanti, Milano 1971, vol. 4, pp. 589-644; S. Poggi, "La fisiologia sperimentale nel suo periodo classico", in P. Rossi (a cura di), *Storia della scienza moderna e contemporanea*, UTET, Torino 1988, vol. 2, tomo II, pp. 865-902, in particolare pp. 870-876; G. Finkelstein, *Emil du Bois-Reymond: Neuroscience,*

Self, and Society in Nineteenth-Century Germany, MIT Press, Cambridge (MA) 2013, in particolare pp. 57-75.

4. J. Müller, *Handbuch der Physiologie des Menschen für Vorlesungen*, Hölscher Verlag, Bonn 1833 e 1840, citato in S. Finger, N.J. Wade, "The neuroscience of Helmholtz and the theories of Johannes Müller. Part 1: Nerve cell structure, vitalism, and the nerve impulse", in *Journal of the History of the Neurosciences*, 11, 2002, pp. 136-155.
5. H. von Helmholtz, *Note sur la vitesse de propagation de l'agent nerveux dans les nerfs rachidiens. Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Paris 1850, vol. 30, pp. 204-206.
6. M. Meulders, *Helmholtz. Dal secolo dei lumi alle neuroscienze*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 2005, p. 143.
7. K.M. Olesko, F.L. Holmes, "Experimentation, quantification, and discovery", in D. Cahan (a cura di), *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, University of California Press, Berkeley 1993, pp. 501-508.
8. H. von Helmholtz, *Über die Fortpflanzunggeschwindigkeit der Nervenreizung* (1850), in *Wissenschaftliche Abhandlungen*, J.A. Barth, Leipzig 1895, vol. 3, p. 13.
9. L. Koenigsberger, *Hermann von Helmholtz*, cit., vol. 1, pp. 118-165.
10. M. Piccolino, "A 'lost time' between science and literature; the 'temps perdu' from Hermann von Helmholtz to Marcel Proust", in *Audiological Medicine*, 1, 2003, pp. 261-270; Th. Schestag, "Retrouvé: du temps perdu. Note sur l'origine du temps perdu dans la *Recherche* de Marcel Proust", in *Philosophia Scientiae*, 7, 2003, pp. 115-127.
11. S. Finger, N.J. Wade, "The neuroscience of Helmholtz and the theories of Johannes Müller. Part 1: Nerve cell structure, vitalism, and the nerve impulse", cit., pp. 136-155.
12. Citato in L. Koenigsberger, *Hermann von Helmholtz*, cit., pp. 124, 129 sgg.
13. A. Benini, *La coscienza imperfetta. Le neuroscienze e il significato della vita*, Garzanti, Milano 2012, pp. 114 sgg.
14. E. Mach, *Analisi delle sensazioni*, tr. it. (basata sulla III ed. tedesca) Fratelli Bocca, Torino 1903; anche *L' analisi delle sensazioni e il rapporto fra fisico e psichico*, tr. it. Feltrinelli-Bocca, Milano 1975 (ed. consultata *Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, Fischer, Jena 1906, p. 206 (V ed.; I ed. Praha 1885); *Conoscenza ed errore: abbozzi per una psicologia della ricerca*, tr. it. Einaudi, Torino 1982 (ed. consultata *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1980, pp. 423 sgg., 434 sgg., citaz. p. 425 (I ed. Leipzig 1905).
15. J. LeDoux, *Ansia. Come il cervello ci aiuta a capirla*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2016.
16. H. von Hofmannsthal, *Ein Brief*, in *Gesammelte Werke*, Fischer, Frankfurt a.M. 1980, vol. 7, pp. 461-472, citaz. pp. 465, 466.
17. R. Safranski, *Zeit: Was sie mit uns macht und was wir aus ihr machen*, Hanser, München 2015, p. 200
18. M. Piccolino, "A 'lost time' between science and literature; the 'temps perdu' from Hermann von Helmholtz to Marcel Proust", cit., pp. 261-270.

19. I lavori sul tempo di Benjamin Libet e collaboratori sono raccolti in B. Libet, *Neurophysiology of Consciousness. Selected Papers and New Essays*, Birkhäuser, Boston-Basel-Berlin 1993. Vedi anche il suo *Mind Time. Il fattore temporale della coscienza*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2007 (ed. consultata *Mind Time. The Temporal Factor in Consciousness*, Harvard University Press, Cambridge (MA)-London 2004, in particolare pp. 33-89).
20. La procedura è descritta in B. Libet et al., "Production of threshold levels of conscious sensation by electrical stimulation of human somatosensory", in *Journal of Neurophysiology*, 27, 1963, pp. 546-578. Vedi anche B. Libet, *Neurophysiology of Consciousness. Selected Papers and New Essays*, cit., pp. 234 sgg.
21. B. Libet, "Brain stimulation and the threshold of conscious experience in neurophysiology of consciousness", in *Neurophysiology of Consciousness. Selected Papers and New Essays*, cit., pp. 47 sgg.
22. P.G. Ray et al., "Physiology of perception: Cortical stimulation and recording in humans", in *Neurology*, 52, 5, 1999, pp. 1044-1049.

5. CHE COS'È IL TEMPO?

1. R. Feynman, *Lectures on Physics*, Basic Books, New York 1963, 3 voll., vol. 1, cap. 5, par. 2: "Time". [*Time is what happens when nothing else happens. [...] What really matters anyway is not how we define time, but how we measure it.*]
2. J. Barbour, *La fine del tempo. La rivoluzione fisica prossima ventura*, tr. it. Einaudi, Torino 2005, p. 65.
3. M. Dorato, *Che cos'è il tempo? Einstein, Gödel e l'esperienza comune*, Carocci, Roma 2013; F. Orilia, *Filosofia del tempo. Il dibattito contemporaneo*, Carocci, Roma 2012.
4. N. Elias, *Saggio sul tempo*, tr. it. il Mulino, Bologna 1986 (ed. consultata N. Elias, *Über die Zeit*, Suhrkamp, Frankfurt a.M. 1984, p. VII).
5. M. Jueptner et al., "Localization of a cerebellar timing process using PET", in *Neurology*, 45, 1995, pp. 1540-1545; H. Eichenbaum, "Memory on time", in *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 2013, pp. 81-88; N. Bray, "The hippocampus encodes objects in time", in *Nature Review Neuroscience*, 15, 2014, p. 281, DOI: 1038/nrn3735; F. Johansson, G. Hesslow, F. Medina, "Mechanisms for motor timing in the cerebellar cortex", in *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com.
6. F.A. Kagerer et al., "Cortical involvement in temporal reproduction: Evidence for differential roles of the hemispheres", in *Neuropsychologia*, 40, 2002, pp. 357-366.
7. A. Benini, *La coscienza imperfetta. Le neuroscienze e il significato della vita*, Garzanti, Milano 2012, pp. 103-105.
8. G. Galilei, *Il Saggiatore*, in *Opere*, a cura di F. Flora, Ricciardi, Milano-Napoli 1953, vol. 1, pp. 312 sgg.
9. A. Gefter, *Due intrusi nel mondo di Einstein*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2015, p. 113.

10. E. Pöppel, *Der Rahmen. Ein Blick des Gehirns auf unser Ich*, Hanser, München 2006, pp. 262-274; "Presemantically defined temporal windows for cognitive processing", in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 364, 2009, pp. 1887-1896.
11. C.V. Buhusi, W.H. Meck, "What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing", in *Nature Review Neuroscience*, 6, 2005, pp. 755-765; F. Scharnowski, G. Rees, V. Walsh, "Time and the brain: Neurorelativity. The chronoarchitecture of the brain from neuronal rather than the observer's perspective", in *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 2013, pp. 51-52.
12. J.M. Fuster, "Temporal processing", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 1995, pp. 173-181; G. Koch et al., "Selective deficit of time perception in a patient with right prefrontal cortex lesion", in *Neurology*, 59, 2002, pp. 1658-1659; M. Oliveri et al., "Representation of time intervals in the right posterior parietal cortex: Implications for a mental time line", in *NeuroImage*, 46, 2009, pp. 1173-1179; M. Triviño et al., "Temporal orienting deficit after prefrontal damage", in *Brain*, 133, 2010, pp. 1173-1185.
13. P. Nichelli et al., "Duration processing after frontal lobe lesions", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 1995, pp. 183-190.
14. J.H. Wearden, "The cognitive neuroscience of time perception: How psychological studies might help to dissect the timing system", in *Neuropsychologia*, 51, 2013, pp. 187-190.
15. M. Wittmann, "The inner experience of time", in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 364, 2009, pp. 1955-1967; C. Fortin, R. Schweickert, "Timing, working memory and expectancy. A review of interference studies", in *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com.
16. M. Wittmann, V. van Wassenhove, "The experience of time: Neural mechanisms and the interplay of emotion, cognition and embodiment", in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 364, 2009, pp. 1809-1813.
17. J.I. Lake, "Recent advances in understanding emotion driven temporal distortions", in *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com; J. LeDoux, *Ansia. Come il cervello ci aiuta a capirla*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2016, pp. 268 sgg.
18. Vedi J. Gibbon et al., "Toward a neurobiology of temporal cognition: Advances and challenges", in *Current Opinion in Neurobiology*, 7, 1997, pp. 170-184.
19. D. Casasanto, L. Boroditsky, "Time in the mind: Using space to think about time", in *Cognition*, 106, 2008, pp. 579-593.

6. LA REALTÀ DEL TEMPO

1. *Timing*, termine del linguaggio scientifico di molte discipline e in tutte le lingue. Non ha un equivalente esatto in italiano. Indica la capacità di distribuire segnali o compiere operazioni collocando eventi e fenomeni in una successione temporale. Vedi J.T. Coull, R.K. Cheng, W.H. Meck, "Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing", in *Neuropsychopharmacology Reviews*, 36, 2011, pp. 3-25.

2. R.E. Ornstein, *On the Experience of Time*, Penguin, London 1969.
3. A. Einstein, L. Infeld, *L'evoluzione della fisica: sviluppo delle idee dai concetti iniziali alla relatività e ai quanti*, tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 2011 (ed. consultata *Die Evolution der Physik*, Zsolnay, Wien 1951, p. 215).
4. W. Goody, "Disorders of the time sense", in P.J. Winken, G.W. Bruyn (a cura di), *Handbook of Clinical Neurology*, Elsevier, Amsterdam 1969, vol. 8, pp. 229-250.
5. M.T. Elliot, W.L. Chua, A.M. Wing, "Modelling single and multiperson event-based synchronisation", in *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com.
6. A. Angrilli et al., "The influence of affective factors on time perception", in *Perception & Psychophysik*, 59, 1997, pp. 972-982; C.V. Buhusi, W.H. Meck, "Relative time sharing: New findings and an extension of the resource allocation model of temporal processing", in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 364, 2009, pp. 1875-1885; S. Droit-Volet, S. Gil, "The time-emotion paradox", in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 364, 2009, pp.1943-1953.
7. F. Macar, S. Grodin, L. Casini, "Controlled attention sharing influences time estimation", in *Memory & Cognition*, 22, 1994, pp. 673-686.
8. A. Schirmer, "How emotions change time", in *Frontiers in Integrative Neuroscience*, http://www.frontiersin.org.integrative_neuroscience/10.3389/fnint.2011.00058/full.
9. M. Noulhiane et al., "How emotional auditory stimuli modulate time perception", in *Emotion*, 7, 2007, pp. 697-704.
10. F.N. Watts, R. Sharrock, "Fear and time estimation", in *Perceptual and Motor Skills*, 59, 1984, pp. 597-598.
11. H. Doi, K. Shinohara, "The perceived duration of emotional face is influenced by the gaze direction", in *Neuroscience Letters*, 457, 2009, pp. 97-100.
12. M.F. Hawkins, W.H. Tedford, JR, "Effects of interest and relatedness on estimated duration of verbal material", in *Bulletin of the Psychonomic Society*, 8, 1976, pp. 301-302.
13. A. Einstein, L. Infeld, *L'evoluzione della fisica: sviluppo delle idee dai concetti iniziali alla relatività e ai quanti*, cit. (tr. ted. cit., p. 214).
14. W.H. Meck, "Neuropsychology of timing and time perception", in *Brain and Cognition*, 58, 2005, pp. 1-8.
15. P. Coveney, R. Highfield, *La freccia del tempo. Viaggio attraverso uno dei grandi misteri della scienza*, tr. it. Rizzoli, Milano 1991, in particolare pp. 170 sgg.; J. Santiago et al., "Time (also) flies from left to right", in *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 2007, pp. 512-516; U.W. Weger, J. Pratt, "Time flies like an arrow: Space-time compatibility effects suggest the use of a mental timeline", in *Psychonomic Bulletin & Review*, 15, 2008, pp. 426-430; A. Everett, Th. Roman, *Come viaggeremo nel tempo.*

Una guida scientifica alle scorciatoie del nostro Universo, tr. it. il Saggiatore, Milano 2016.

16. D.A. Abrams et al., "Decoding temporal structure in music and speech relies on shared brain resources but elicits different finescale spatial patterns", in *Cerebral Cortex*, 21, 2011, pp. 1507-1518.
17. Vedi R.C. Berwick, N. Chomsky, *Why Only Us: Language and Evolution*, MIT Press, Cambridge (MA)-London 2016; I. Tattersall, "At the birth of language", in *New York Review of Books*, 18 agosto 2016.
18. J. Piaget, *Lo sviluppo della nozione di tempo nel bambino*, tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1979; L.L. Carstensen, "The influence of a sense of time on human development", in *Science*, 312, 2006, pp. 1913-1915; J.S. Droit-Volet, "Time perception in children: A neurodevelopmental approach", in *Neuropsychologia*, 51, 2013, pp. 220-234; S. Droit-Volet, "Development of time", in *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com.
19. T. McCormack, "Three types of temporal perspective: Characterizing developmental changes in temporal thought", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 82-89.
20. A. Schirmer, K. Alter, S.A. Kotz, A.D. Friederici, "Lateralization of prosody during language production: A lesion study", in *Brain and Language*, 76, 2001, pp. 1-17; S. Anderson et al., "Neural timing is linked to speech perception in noise", in *Journal of Neuroscience*, 30, 2010, pp. 4922-4926.
21. N. Ding, H. He, "Rhythm of silence", in *Trends in Cognitive Sciences*, 20, 2016, pp. 82-84.
22. M.D. Mauk, D.B. Buonomano, "The neural basis of temporal processing", in *Annual Review of Neuroscience*, 27, 2004, pp. 307-340; N. Ding et al., "Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech", in *Nature Neuroscience*, 7, 2015, DOI: 10.1038/nn.4186.
23. R. Gütig, H. Somplinsky, "Time-warp-invariant neuronal processing", in PLOS *Biology*, 7 luglio 2009, DOI: 10.1371/journal.pbio.1000141.
24. A.D. Friederici, K. Alter, "Lateralization of auditory language functions: A dynamic dual pathway model", in *Brain and Language*, 89, 2004, pp. 267-276.
25. C. Sinha, P. Gärdenfors, "Time, space, and events in language cognition", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 72-81.
26. A. Schirmer, "Timing speech: A review of lesion and neuroimaging findings", in *Cognitive Brain Research*, 21, 2004, pp. 269-287.
27. R. De Bleser, "Dyslexien und dysraphien", in H.O Karnath, P. Thier (a cura di), *Neuropsychologie*, Springer, Berlin-Heidelberg-New York 2003, pp. 397-404; E.S. Norton, S.D. Beach, J. De Gabrieli, "Neurobiology of dyslexia", in *Current Opinion in Neurobiology*, 30, 2015, pp. 73-78.
28. C. Peyrin et al., "Neural dissociation of phonological and visual attention span disorders in developmental dyslexia: fMRI evidence from two case reports", in *Brain and Language*, 120, 2012, pp. 381-394.
29. M.A. Farmer, R.M. Klein, "The evidence for a temporal processing deficit linked to dyslexia. A review", in *Psyconomic Bulletin and Review*, 2, 1995, pp. 460-493; C. Steinbrink et al., "Neural correlates of temporal

auditory processing in developmental dyslexia during German vowel length discrimination: An fMRI study", in *Brain and Language*, 121, 2012, pp. 1-11; U. Goswami, "Sensory theories of developmental dyslexia: Three challenges for research", in *Nature Review Neuroscience*, 16, 2015, pp. 43-54.

30. J.-P. Changeux in P. Boulez, J.-P. Changeux, Ph. Manoury, *I neuroni magici. Il cervello e la musica*. Tr. it. Carocci, Roma 2016, p. 17.
31. H. Gunnar, *Die Autonomie des Klangs. Eine Philosophie der Musik*, Suhrkamp, Berlin 2014, in particolare pp. 108-146 ("Die musikalische Zeit"), citaz. pp. 115, 116, 121.
32. Sul silenzio vedi A. Benini, "La coscienza del silenzio", in *La coscienza imperfetta. Le neuroscienze e il significato della vita*, Garzanti, Milano 2012, pp.147-154. Sul silenzio nella musica vedi M. Brunello, *Silenzio*, il Mulino, Bologna 2014; W. Schreiber, "L'ascolto della musica ha bisogno del silenzio. Claudio Abbado, Maurizio Pollini e Luigi Nono: un'amicizia musicale", tr. it. in G. Fournier-Facio (a cura di), *Claudio Abbado. Ascoltare il silenzio*, il Saggiatore, Milano 2016, pp. 37 sgg.
33. R. Chailly, *Il segreto è nelle pause. Conversazioni sulla musica*, Rizzoli, Milano 2015, pp. 37 sgg. (ed. consultata *Das Geheimnis liegt in der Stille. Gespräche über Musik*, Henschel-Bärenreiter, Kassel 2015, pp. 7 sgg., 52 sgg.).
34. A. Parbery-Clark et al., "Musical experience offsets agerelated delays in neural timing", in *Neurobiology of Aging*, 20, 2012, pp. 1-4..

7. I PROCESSI NERVOSI DEL SENSO DEL TEMPO

1. K.S. Lashley, "The problem of serial order in behavior", in F.A. Beach, D.O. Hebb, C.T. Morgan, N.W. Nissen (a cura di), *The Neuropsychology of Lashley*, McGrawHill, New York 1951, pp. 112-146, citaz. p. 112.
2. Vedi D. Le Bihan, *Le cerveau de cristal. Ce que nous révèle la neuroimaginery*, Odile Jacob, Paris 2012.
3. E. Pöppel, "Time perception", in R. Held, H.W. Leibowitz, H.L. Teuber, *Perception*, Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1978, vol. 7, pp. 713-728.
4. M.J. Yates, "Time and number sense develop in tandem?", in *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6, 12, 2012, DOI: 10.3389/fnint.2012.00012.
5. P.A. Lewis, R.C. Miall, "Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: Evidence from neuroimaging", in *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 2003, pp. 250-255; J.S. Warm, R.M. Stutz, P.A. Vassolo, "Intermodal transfer in temporal discrimination", in *Perception & Psychophysics*, 18, 1975, pp. 281-286; G. Picht, "Die Zeit und die Modalitäten", in *Hier und Jetzt: Philosophieren nach Auschwitz und Hiroshima*, Klett-Cotta, Stuttgart 1980, vol. 1, pp. 362 sgg.
6. J.A. Wheeler, citato in S. Carroll, *Dall'eternità a qui*, tr. it. Adelphi, Milano 2011 (ed. consultata *From Eternity to Here. The Quest for the Ultimate Theory of Time*, Dutton, New York 2010, p. 10).
7. R. Kanai et al., "Modality-independent role of the primary auditory cortex in time estimation", in *Experimental Brain Research*, 209, 2011,

pp. 465-471; H. Merchant, D.L. Harrington, W.H. Meck, "Neural basis of the perception and estimation of time", in *Annual Review of Neuroscience*, 36, 2013, pp. 313-336; C.A. Lindbergh, P.D. Kieffaber, "The neural correlates of temporal judgments in the duration bisection task", in *Neuropsychologia*, 51, 2013, pp. 191-196; M. Wittmann, "The inner sense of time: How the brain creates a representation of duration", in *Nature Reviews Neuroscience*, 14, 2013, pp. 217-223.

8. M.S. Matell, W.H. Meck, "Neuropsychological mechanisms of interval timing behaviour", in *Bio-Essays*, 22, 2000, pp. 94-103.
9. M.G.H. Shuler, "Timing in the visual cortex and its investigation", in *Current Opinion in Behavioural Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com.
10. D.L. Harrington, K.Y. Haaland, R.T. Knight, "Cortical networks underlying mechanisms of time perception", in *The Journal of Neuroscience*, 18, 2009, pp. 1085-1095; R.B.Ivry, J.E. Schlerf, "Dedicated and intrinsic models of time perception", in *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 2008, pp. 274-280; D.O. Claassen et al., "Deciphering the impact of cerebellar and basal ganglia dysfunction in accuracy and variability of motor timing", in *Neuropsychologia*, 51, 2013, pp. 267-274.
11. R.B. Ivry, R.M.C. Spencer, "The neural representation of time", in *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 2004, pp. 225-232; V. Pouthas et al., "Neural network involved in time perception: An fMRI study comparing long and short interval estimation", in *Human Brain Mapping*, 25, 2005, pp. 433-441; U.R. Karmarkar, D.V. Buonomano, "Timing in the absence of clocks: Encoding time in neural network states", in *Neuron*, 53, 2007, pp. 427-438.
12. D.V. Buonomano, R. Laje, "Population clocks: Motor timing with neural dynamics", in S. Dehaene, E. Brannon (a cura di), *Space, Time and Number in the Brain Searching for the Foundations of Mathematical Thought*, Elsevier, Amsterdam-Boston et al. 2011, pp. 71 sgg.
13. D. Bueti, V. Walsh, "The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes", in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 364, 2009, pp. 1831-1840; D.J. Palombo, M.M. Keane, M. Verfaellie, "Does the hippocampus keep track of time?", in *Hippocampus*, 26, 2016, pp. 372-379.
14. P.U. Tse et al., "Attention and the subjective expansion of time", in *Perception & Psychophysics*, 66, 2004, pp. 1171-1189.
15. M. Failing, J. Theeuwes, "Reward alters the perception of time", in *Cognition*, 148, 2016, pp. 19-26.
16. K. Louie, L.E. Grattan, P.W. Glimcher, "Reward value-based gain control: Divisive normalization in parietal cortex", in *Journal of Neuroscience*, 31, 2011, pp. 10.627-10.639.
17. E.K. Grommet et al., "Time estimation of fear cues in human observes", in *Behavioural Processes*, 86, 2011, pp. 88-92; J.I. Lake, K.S. LaBar, "Unpredictability and uncertainty in anxiety: A new direction for emotional timing research", in *Frontiers in Integrative Neuroscience*, http://www.frontiersin.org/integrative_neuroscience/10.3389/fnint.2011.00055/full.

18. W.H. Meck, C.J. MacDonald, "Amygdala inactivation reverses fear's ability to impair divided attention and make times stand still", in *Behavioral Neuroscience*, 121, 4, 2007, pp. 707-720.
19. J.T. Coull, A.C. Nobre, "Where and when to pay attention: The neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and MRI", in *Journal of Neuroscience*, 18, 1998, pp. 7426-7435. In Inghilterra e in altri Paesi europei, non in Italia, il giallo viene sia dopo il rosso sia dopo il verde.
20. W. Goody, "Il timing e il tempo dei musicisti", tr. it. in M. Critchley, *La musica e il cervello. Studi sulla neurologia della musica*, Piccin, Padova 1987, pp. 137-145, citaz. p. 137.
21. Agostino di Ippona, *Confessioni*, ed. it. a cura di R. De Monticelli, Garzanti, Milano 1990, XI, 27,36, pp. 466-467. [*In te, anima mia, misuro il tempo (...). In te, dico, io misuro il tempo.*]
22. M. Heidegger, *Il concetto di tempo*, tr. it. Adelphi, Milano 1998 (ed. consultata *Der Begriff der Zeit*, in *Gesamtausgabe*, Klostermann, Frankfurt a.M 2004, vol. 64, p. 111. [*In dir, mein Geist, messe ich die Zeiten; dich messe ich, so ich die Zeit messe.*])
23. R.E. Hicks et al., "Prospective and retrospective judgment of time as a function of amount of information processed", in *The American Journal of Psychology*, 89,1976, pp. 719-730; D. Zakay, "Time estimation methods: Do they influence prospective duration estimates?", in *Perception*, 22, 1993, pp. 91-101; D. Zakay, R.A. Block, "Prospective and retrospective duration judgments: An executive-control perspective", in *Acta neurobiologiae experimentalis*, 64, 2004, pp. 319-328.
24. N.A. Taatgen, H. van Rijn, "An integrated theory of prospective time interval estimation: The role of cognition, attention and learning", in *Psychological Review*, 114, 2007, pp. 577-598; E. Eimer, A. Gruber, "A dissociation between selective attention and conscious awareness in the representation of temporal order information", in *Consciousness and Cognition*, 35, 2015, pp. 274-281.
25. M. Noulhiane et al., "How emotional auditory stimuli modulate time perception", in *Emotion*, 7, 2007, pp. 697-704.
26. P. Kalanithi, "Before I go. Time warps for a young surgeon with metastatic lung cancer", in *Stanford Medicine*, Spring 2015, http:// stanmed.stanford.edu/2015spring/beforeigo.html; stessa frase in P. Kalanithi, *Quando il respiro si fa aria. Un medico, la sua malattia e il vero significato della vita*, tr. it. Mondadori, Milano 2016, pp. 68 sgg.
27. V. Pothas, S. Perbal, "Time perception depends on accurate clock mechanisms as well as unimpaired attention and memory processes", in *Acta neurobiologiae experimentalis*, 64, 2004, pp. 367-385; J.G. Smith et al., "The effect of Parkinson's disease on time estimation as a function of stimulus duration range and modality", in *Brain and Cognition*, 64, 2, 2007, DOI: 10.1016/j.bandc.2007.01.005.
28. M. François, "Contribution a l'étude du sens du temps. La température interne comme facteur de variation de l'appréciation subjective des durées", in *L'année psychologique*, 28, 1927, pp.186-204; J.H. Wearden, I.S.

Penton-Voak, "Feeling the heat. Temperature and the rate of subjective time, revisited", in *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, 48, 1995, pp. 129-141; M.Tamm et al., "The compression of perceived time in a hot environment depends on physiological and psychological factors", in *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67, 1, 2014, pp. 197-208.
29. S. Gil, S. Rousset, S. Droi-Volet, "How liked and disliked foods affect time perception", in *Emotion*, 9, 2009, pp. 457-463.
30. T. Bschor et al., "Time experience and time judgment in major depression, mania and healthy subjects. A controlled study of 93 subjects", in *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 109, 3, 2004, pp. 222-229.
31. M. Wittmann et al., "The relation between the experience of time and psychological distress in patients with hematological malignancies", in *Palliative & Supportive Care*, 4, 2006, pp. 357-363.
32. M. Critchley, *The Parietal Lobes*, Hafner Press, London 1953, pp. 300-303. Vedi anche V. Walsh, "Time: The backdoor of perception", in *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 2003, pp. 335-338.
33. S.M. Rao, A.R. Mayer, D.L. Harrington, "The evolution of brain activation during temporal processing", in *Nature Neuroscience*, 4, 2001, pp. 317-324.
34. I. Alexander, A. Cowey, V. Walsh, "The right parietal cortex and time perception: Back to Critchley and the *Zeitrafferphenomenon*", in *Cognitive Neuropsychology*, 22, 2005, pp. 306-315.

8. L'ILLUSIONE DELLA SIMULTANEITÀ

1. W. Kinnebrock, *Dove va il tempo che passa. Fisica, filosofia e vita quotidiana*, tr. it. il Mulino, Bologna 2013, pp. 53 sgg.
2. R.H. Hamilton, J.T. Shenton, H. Branch Coslett, "An acquired deficit of audio-visual speech processing", in *Brain and Language*, 98, 2006, pp. 66-73.
3. J. Tuomainen et al., "Audio-visual speech perception is special", in *Cognition*, 96, 2005, B13-B22.
4. A.J. King, "Multisensory integration: Strategies for synchronization", in *Current Biology*, 15, 9, 2005, R341, DOI: 10.1016/j.cub.2005.04.022.
5. A. Diederich, H. Colonius, "The time window of multisensory integration: Relating reaction times and judgments of temporal order", in *Psychological Review*, 122, 2, 2015, pp. 232-241, http://dx.doi.org/10.1037/a0038696.
6. G.A. Goff, Y. Matsumiya, T. Allison, W.R. Goff, "The scalp topography of human somatosensory and auditory evoked potentials", in *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42, 1977, pp. 57-76.
7. A.J. King, A.R. Palmer, "Integration of visual and auditory information in bimodal neurones in the guineapig superior colliculus", in *Experimental Brain Research*, 60, 1985, pp. 492-500; M. Meister, M. Tessier-Lavigne, "Analisi visiva di primo livello: la retina", tr. it. in E.R. Kandel et al., *Principi di neuroscienze*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano 2015, pp. 577-600 (IV ed. basata sulla v ed. inglese, 2013); B. Libet, *Mind Time. Il fattore temporale nella coscienza*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2007.

8. Ch. Spence, S. Squire, "Multisensory integration: Maintaining the perception of synchrony", in *Current Biology*, 13, 2003, R519-R521; D. Alais, S. Carlile, "Synchronizing the real events. Subjective audio-visual alignment scales with perceived auditory depth and speed of sound", in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 2005, pp. 2244-2247.
9. K.O. Bushara, J. Grafman, M. Hallett, "Neural correlation of audio-visual stimulus onset asynchrony detection", in *Journal of Neuroscience*, 27, 2001, pp. 300-304.
10. V. Walsh, "A theory of magnitude: Common critical metrics of time, space and quantity", in *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 2003, pp. 483-488.
11. K.O. Bushara et al., "Neural correlates of cross-modal binding", in *Nature Neuroscience*, 6, 2003, pp. 190-195.
12. B.D. Parsons, "Motor-sensory recalibration modulates perceived simultaneity of cross-modal events at different distances", in *Frontiers in Psychology*, 26 febbraio 2013, http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00046.
13. K. Martin, "Time waits for no man. Do you know what you think before you see what you say?", in *Nature*, 429, 2004, pp. 243-244.
14. A. Benini, *La coscienza imperfetta. Le neuroscienze e il significato della vita*, Garzanti, Milano 2012, pp. 114 sgg.
15. Y. Sugita, Y. Suzuki, "Implicit estimation of soundarrival time", in *Nature*, 421, 2003, pp. 911-912; B.D Parsons, "Motor-sensory recalibration modulates perceived simultaneity of cross-modal events at different distances", cit.
16. W. Fujisaki et al., "Recalibration of audio-visual simultaneity", in *Nature Neuroscience*, 7, 2004, pp. 773-778.
17. A. Johnston et al., "Spatially localized distorsions of event time", in *Current Biology*, 16, 2006, pp. 472-479; M. Cai, C. Stetson, D.M. Eagleman, "A neural model for temporal order judgment and their active recalibration: A common mechanism for space and time?", in *Frontiers in Psychology*, 3, 2012, pp. 1-11, DOI: 10.3389/fpsyg.2012.00470.
18. J. Tuomainen et al., "Audio-visual speech perception is special", cit., B13-B22; A. Vatakis et al., "Temporal recalibration during asynchronous audio-visual speech perception", in *Experimental Brain Research*, 181, 2007, pp. 173-181; R. Gültig, H. Sompolinsky, "Time-warp-invariant neuronal processing", in *PLOS Biology*, 7 luglio 2009, DOI: 10.1371/Journal.pbio.1000141.
19. A. Vatakis et al., "Temporal recalibration during asynchronous audio-visual speech perception", cit., pp. 173-181; J. Tuomainen et al., "Audio-visual speech perception is special", cit., B13-B22.
20. J.V. Stone et al., "When is now? Perception of simultaneity", in *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 268, 2001, pp. 31-38.
21. *Ibidem*. Nel lavoro c'è la storia degli esperimenti sulla sincronia audiovisiva a partire dal 1861.
22. R. Zampini, D.I. Shore, C. Spence, "Audio-visual temporal order judgments", in *Experimental Brain Research*, 152, 2003, pp. 198-210.
23. R. Kanai et al., "Modality-independent role of the primary auditory cortex in time estimation", in *Experimental Brain Research*, 209, 2011, pp. 465-471.

24. W. Fujisaki et al., "Recalibration of audio-visual simultaneity", cit., pp. 773-778.
25. E. Macaluso et al., "Spatial and temporal factors during processing of audio-visual speech: A PET study", in *NeuroImage*, 21, 2004, pp. 725-732.
26. V.M. Morrone et al., "Saccadic eye movements cause compression of time as well as space", in *Nature Neuroscience*, 8, 2005, pp. 950-954.
27. M. Pastor et al., "The functional neuroanatomy of temporal discrimination", in *Journal of Neuroscience*, 24, 2004, pp. 2585-2591.
28. A. Tomassini et al., "Perceived duration of visual and tactile stimuli depends on perceived in speed", in *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5, 2011, DOI: 10.3389/fnint.2011.00051.
29. W.W. Campbell et al., "Nerve conduction velocity varies inversely with height", in *Muscle & Nerve*, 4, 1981, pp. 520-523.
30. J. Ross et al., "Changes in visual perception at the time of saccades", in *Trends in Neurosciences*, 24, 2001, pp. 113-121; L. Rinaldi et al., "Keeping an eye on serial order: Ocular movements bind space and time", in *Cognition*, 142, 2015, pp. 291-298.
31. H. von Helmholtz, *Handbuch der Physiologischen Optik*, Voss, Leipzig 1867.
32. T. Muller, A.C. Nobre, "Perceiving the passage of time: Neural possibilities", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 60-71.
33. D.W. Cunningham et al., "Sensorimotor adaptation to violations of temporal contiguity", in *Psychological Science*, 12, 2001, pp. 532-535.
34. D. Hume, *Trattato sulla natura umana*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1975, tomo I, p. 188. Nell'*Estratto del Trattato sulla natura umana*, Hume ribadisce che "la contiguità nel tempo e nello spazio è una circostanza richiesta perché operi una causa qualunque" (tr. it. Laterza, Roma-Bari 1983, p. 76).
35. S.J. Blakemore et al., "How the brain perceives causality: An event-related fMRI study", in *NeuroReport*, 12, 2001, pp. 3741-3746.
36. *Ibidem*.
37. C. Stetson et al., "Motor-sensory recalibration leads to an illusory reversal of action and sensation", in *Neuron*, 51, 2006, pp. 651-659.
38. J.T. Coull, A.C. Nobre, "Where and when to pay attention: The neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI", in *Journal of Neuroscience*, 18, 1998, pp. 7426-7435; V. van Wassenhove, "Minding time in an amodal representational space", in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 364, 2009, pp. 1815-1830; R.A. Stevenson et al., "Interactions between the spatial and temporal stimulus factors that influence multisensory integration in human performance", in *Experimental Brain Research*, 219, 2012, pp.121-137.
39. A.K. Engel, W. Singer, "Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness", in *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 2001, pp. 16-25.
40. P. Haggard, S. Clark, J. Kalogeras, "Voluntary action and conscious awareness", in *Nature Neuroscience*, 5, 2002, pp. 382-385.

41. M.J Buehner, "Understanding the past, predicting the future: Causation, not intentional action, is the root of temporal binding", in *Psychological Science*, 23, 2012, pp. 1490-1497; A. Desantis et al., "How action structures time: About the perceived temporal order of action and predicted outcomes", in *Cognition*, 146, 2016, pp. 100-109.
42. T. Muller, A.C. Nobre, "Perceiving the passage of time: Neural possibilities", cit., pp. 60-71; C. Bechlivanidis, D.A. Lagnado, "Time reordered: Causal perception guides the interpretation of temporal order", in *Cognition*, 146, 2016, pp. 58-66.
43. J.W. Moore, S.S. Obhi, "Intentional binding and the sense of agency: A review", in *Consciousness and Cognition*, 21, 2012, pp. 546-561.
44. M.J. Buehner, G.R. Humphreys, "Causal bindings of actions to their effects", in *Psychological Science*, 20, 2009, pp. 1221-1228.
45. D. Wenke, P. Haggard, "How voluntary actions modulate time perception", in *Experimental Brain Research*, 196, 2009, pp. 311-318; K. Engbert, A. Wohlschläger, P. Haggar, "Who is causing what? The sense of agency is relational and effect-triggered", in *Cognition*, 107, 2008, pp. 693-704.
46. C. Haering, "Mine is earlier than yours: Causal beliefs influence the perceived time of action effects", in *Frontiers in Psychology*, http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2012.00393/full; A. Desantis et al., "On the influence of causal beliefs on the feeling of agency", in *Consciousness and Cognition*, 20, 2011, pp. 1211-1220.
47. C. Stetson et al., "Motor-sensory recalibration leads to an illusory reversal of action and sensation", cit., pp. 651-659.
48. I lavori più importanti sul tempo di Libet e collaboratori sono raccolti in B. Libet et al., *Neurophysiology of Consciousness. Selected Papers and New Essays*, Birkhäuser, Boston-Basel-Berlin 1993.
49. B. Libet, *Mind Time. Il fattore temporale nella coscienza*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2007, pp. 37 sgg.
50. T. Crane, "Ready or not", in *The Times Literary Supplement*, 14 gennaio 2005, recensione al libro di B. Libet, *Mind Time. The Temporal Factor in Consciousness*, Harvard University Press, Cambridge (MA)-London 2004 (tr. it. cit., *Mind Time. Il fattore temporale nella coscienza*).
51. A. Schurger, M. Mylopoulos, D. Rosenthal, "Neural antecedents of spontaneous voluntary movement: A new perspective trends in cognitive sciences", 20, 2016, pp. 77-79; S. Dehaene, *Coscienza e cervello. Come i neuroni codificano il pensiero*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2014, pp. 163 sgg.; M. Balaguer, *Free Will*, MIT Press, Cambridge (MA)-London 2014, pp. 89 sgg.
52. F. Binkofski, R.A. Block, "Accelerated time experience after left frontal cortex lesion", in *Neurocase*, 2, 1996, pp. 485-493.
53. E. Mach, *Analisi delle sensazioni*, tr. it. (basata sulla III ed. tedesca) Fratelli Bocca, Torino 1903; anche *L'analisi delle sensazioni e il rapporto fra fisico e psichico*, tr. it. Feltrinelli-Bocca 1975 (ed. consultata *Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, Fischer, Jena 1906, p. 206 (V ed.; I ed. Praha 1885).
54. Questa storia clinica è riferita in A. Benini, *Che cosa sono io. Il cervello alla ricerca di sé stesso*, Garzanti, Milano 2009, p. 103.

55. F. Petrarca, *Trionfo del tempo*, in *Trionfi*, a cura di G. Bezzola, Rizzoli, Milano 1997, vv. 59-61.
56. L.L. Carstens, "The influence of a sense of time on human development", in *Science*, 312, 2006, pp. 1913-1915; V. Pouthas, S. Perbal, "Time perception depends on accurate clock mechanisms as well as unimpaired attention and memory process", in *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64, 2004, pp. 367-385; F. Macar, S. Grondin, L. Casini, "Controlled attention sharing influences time estimation", in *Memory & Cognition*, 22, 1994, pp. 673-686.
57. M.I. Schlesinger et al., "The medial entorhinal cortex is necessary for temporal organization in hippocampal neuronal activity", in *Nature Neuroscience*, 18, 2015, pp. 1123-1136.
58. S. Dehaene, J.-P. Changeux, "Experimental and theoretical approaches to conscious processing", in *Neuron*, 70, 2011, pp. 200-227.
59. G.M. Edelman, *Il presente ricordato. Una teoria biologica della coscienza*, tr. it. Rizzoli, Milano 1991, p. 163.
60. K. Meyer, "Another remembered present science", in *Science*, 335, 27 gennaio 2012, pp. 415-416.
61. A.V. Apkarian et al., "Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease", in *European Journal of Pain*, 9, 2005, pp. 463-484; T.J. Price, S.A. Prescott, "Inhibitory regulation of the pain gate and how its failure causes pathological pain", in *Pain*, 156, 2015, pp. 789-792.
62. G.W.F. Hegel, *Lineamenti di filosofia del diritto: diritto naturale e scienza dello Stato in compendio*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1991 (ed. consultata *Grundlinien der Philosophie des Rechtes oder Naturrecht und Staatswissenschaft im Grundriss*, Suhrkamp, Frankfurt a.M. 1986, p. 28).

9. TEMPO, SPAZIO E NUMERO NELLA NATURA VIVENTE

1. C. Darwin, *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale*, tr. it. Newton Compton, Roma 1975, p. 92 .
2. E. Kandel, *Alla ricerca della memoria: la storia di una nuova scienza della mente*, ed. it. a cura di M. Giustetto, Le scienze, Roma 2008.
3. V. Doyère, N.E. Massioui, "A subcortical circuit for time and action: Insights from animal research", in *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com.
4. E.M. Brannon, "Mental magnitudes and their transformations", in S. Deaene, E.M. Brannon (a cura di), *Space, Time and Number in the Brain Searching for the Foundations of Mathematical Thought*, Elsevier, Amsterdam-Boston-Heidelberg et al. 2011, pp. 1 sgg.; D.B.M. Haun et al., *Origins of Spatial, Temporal, and Numerical Cognition: Insights from Comparative Psychology*, Elsevier, Amsterdam-Boston-Heidelberg et al. 2011, pp. 191 sgg.; C. Lustig, "The neuroscience of time and number: Untying the Gordian knot frontiers in integrative neuroscience", in *Frontiers in integrative neuroscience*, 5, 47, 2011, http://www.frontiersin.org/integrative_neuroscience/10.3389/fnint.2011.00047/full.

5. D.S. Wilson, *Does Altruism Exist? Culture, Genes, and the Welfare of Others*, Yale University Press, New Haven (CT) - Templeton Press, West Conshohocken (PA) 2015.
6. C. Darwin, *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale*, cit., pp. 173 sgg.; B. Hölldobler, E.O. Wilson, *Formiche. Storia di un'esplorazione scientifica*, tr. it. Adelphi, Milano 1997.
7. M. Denny, A. McFadzean, *L'ingegneria degli animali. Così funziona la vita*, tr. it. Adelphi, Milano 2015, pp. 139-148.
8. J. Henderson et al., "Rufous hummingbirds' memory for flower location", in *Animal Behaviour*, 61, 2001, pp. 981-986; T.A Hurly, "Spatial learning and memory in birds", in *Brain Behaviour and Evolution*, 63, 2004, pp. 211-220; J. Henderson et al., "Timing in free-living rufous hummingbirds, Selasphorus rufus", in *Current Biology*, 16, 2006, pp. 512-515.
9. C.R. Gallistel, *The Organization of Learning*, MIT Press, Cambridge (MA) 1990, citato in C. Sinha, P. Gärdenfors, "Time, space, and events in language and cognition: A comparative view", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 72-81.
10. J. Low, K.C. Burns, M.E. Hauber, "Viewpoint: Wild number sense in broad parasitic Brown-headed Cowbirds", in *Ibis*, 151, 2009, pp. 775-777; M. Andersson et al., "Female sociality and kin discrimination in brood parasitism: Unrelated females fight over egg laying", in *Behavioral Ecology*, 25 febbraio 2015, DOI: 10.1093/beheco/arv007.
11. S. Grondin, C. Girard, "About hemispheric differences in the processing of temporal intervals", in *Brain and Cognition*, 58, 2005, pp. 125-132; N.F. Hardy, D.V. Buonomano, "Neurocomputational models of interval and pattern timing", in *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com; M.R. Hayes, H.D. Schmidt, "GLP1 influences food and drug reward", in *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 2016, www.sciencedirect.com.
12. C.R. Gallistel, "Mental magnitudes", in S. Deaene, E.M Brannon (a cura di), *Space, Time and Number in the Brain Searching for the Foundations of Mathematical Thought*, cit., pp. 3 sgg.
13. L.G. Cheke, N.S. Clayton, "Eurasian jays (*Garrulus glandarius*) overcome their current desires to anticipate two distinct future needs and plan for them appropriately", in *Biology Letters*, 8, 2012, pp. 171-175; V. Morell, "Minds of their own animals are smarter than you think", in *National Geographic Magazine*, ottobre 2015.
14. R.C. Shaw, N.S. Clayton, "Careful cachers and prying pilferes. Eurasian jays (*Garrulus glandarius*) limit auditory information available to competitors", in *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 280, 2013, pp. 1-7.
15. S.J Shettleworth, "La memoria degli uccelli che fanno incetta di cibo", in *Le Scienze*, 1° maggio 1983, pp. 58-68; L.Vozza, G. Vallortigara, *Piccoli equivoci tra noi animali. Siamo sicuri di capirci con altre specie?*, Zanichelli, Bologna 2015, pp. 65-72.
16. E.A. Maguire et al., "Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers", in *Proceedings of the National Academy of Sciences*

USA, 97, 2000, pp. 4398-4403; K. Woollett, A. Maguire, "Acquiring 'the knowledge' of London layout drives structural brain changes", in *Current Biology*, 21, 2011, pp. 2109-2114.
17. M.D. de Hevia et al., "Representations of space, time, and number in neonates", in *Proceedings of the National Academy of Sciences* USA, 111, 2014, pp. 4809-4813.
18. H. Blumenberg, "Die Unentbehrlichkeit der Himmelbewegung für den antiken Zeitbegriff", in *Die Genesis der kopernikanischen Welt*, Suhrkamp, Frankfurt a.M. 1981, vol. 2, pp. 509 sgg.
19. Aristotele, *La metafisica*, ed. it. a cura di C.A. Viano, Utet, Torino 1974, p. 504.
20. D. Hume, *Trattato sulla natura umana*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 1975, pp. 48 sgg.
21. H. Blumenberg, "Die mittelalterliche Unstimmigkeit des antiken Zeitbegriffs", in *Die Genesis der kopernikanischen Welt*, cit., p. 527.
22. S. Shoemaker, "Time without change", in *Journal of Philosophy*, 66, 1969, pp. 363-381.
23. A.J. De Long, "Phenomenological space-time: toward an experimental relativity", in *Science*, 213, 1981, pp. 681-683; N. Binetti et al., "Adaptative tuning of perceptual timing to whole body motion", in *Neuropsychologia*, 51, 2013, pp. 197-210; S.M. Foster et al., "Cognitive function predicts neural activity associated with preattentive temporal processing", in *Neuropsychologia*, 51, 2013, pp. 211-219.
24. V. Walsh, "A theory of magnitude. Common cortical metrics of time, space, and quantity", in *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 2003, pp. 483-488.
25. W.W. Lytton, P. Lipton, "Can the hippocampus tell time? The tempo-ro-septal engram shift model", in *NeuroReport*, 10, 1999, pp. 2301-2306.
26. G. Vallortigara, N. Panciera, *Cervelli che contano*, tr. it. Adelphi, Milano 2015, p. 140.
27. E. Minkoswki, *Il tempo vissuto. Fenomenologia e psicopatologia*, tr. it. Einaudi, Torino 2004, p. 76.
28. Vedi D.L. Barack, J.I. Gold, "Temporal tradeoffs in psychophysics", in *Current Opinion in Neurobiology*, 37, 2016, pp. 121-125.
29. A. Angrilli et al., "The influence of affective factors on time perception", in *Perception & Psychophysics*, 59, 1997, pp. 972-982; F.N. Watts, R. Sharrock, "Fear and time estimation", in *Perceptual and Motor Skill*, 59, 1984, pp. 597-598; J.I. Lake, K.S. LaBar, "Unpredictability and uncertainty in anxiety: A new direction for emotional timing research", in *Frontiers in integrative neuroscience*, 19 settembre 2011, pp. 5-55, http://www.frontiersin.org/integrative_neuroscience/10.3389/fnint.2011.00055/full.
30. H. Hafting et al., "Microstructure of the spatial map in the entorhinal cortex", in *Nature*, 436, 2005, pp. 801-806; F. Sargolini et al., "Conjunctive representation of position, direction, and velocity in entorhinal cortex", in *Science*, 312, 2006, pp. 758-762.
31. C. Rovelli, *Sette brevi lezioni di fisica*, Adelphi, Milano 2015, in particolare pp. 64 sgg.

10. IL SENSO DEL TEMPO DURANTE IL SONNO

1. W.H. Moorcroft, J.L. Breitenstein, "Awareness of time during sleep", in *Annals of Medicine*, 32, 2000, pp. 236-238; S. Aritake et al., "Time estimation during nocturnal sleep in human subjects", in *Neuroscience Research*, 49, 2004, pp. 387-393; M. Xu et al., "Basal forebrain circuit for sleep-wake control", in *Nature Neuroscience*, 18, 2015, pp. 1641-1649.
2. W.B. Webb, W. Ross, "Estimation of the passing of four consecutive hours", in *Perceptual and Motor Skills*, 35, 1972, pp. 768-770.
3. E.N. Brush, "Observations on the temporal judgment during sleep", in *The American Journal of Psychology*, 42, 1930, pp. 408-411.
4. P. Lavie, A. Oksenberg, J. Zomer, "It's time, you must wake up now", in *Perceptual and Motor Skills*, 49, 1979, pp. 447-450; C.R. Bell, "Awakening from sleep at a present time", in *Perceptual and Motor Skills*, 50, 1980, pp. 503-508; H. Zepelin, "REM sleep and the timing of self-awakenings", in *Bulletin of Psychonomic Society*, 24, 1986, pp. 254-256.
5. W.H. Moorcroft, K.H. Kayser, A.J. Griggs, "Subjective and objective confirmation of the ability to self-awaken at a self-predetermined time without using external means", in *Sleep*, 20, 1997, pp. 40-45.
6. C.M. Child, "Statistics of 'unconscious cerebration'", in *The American Journal of Psychology*, 5, 1892, pp. 249-259.
7. T.M. Burke et al., "Effects of caffeine on the human circadian clock *in vivo* and *in vitro*", in *Science Translational Medicine*, 7, 2015, pp. 1-8.
8. J. Born et al., "Timing the end of nocturnal sleep", in *Nature*, 397, 1999, pp. 29-30.
9. M. Tamaki et al., "Night watch in one brain hemisphere during sleep associated with the first-night effect in humans", in *Current Biology*, 26, 2016, pp. 1190-1194.
10. Vedi C. Hammond, *I misteri della percezione del tempo*, tr. it. Einaudi, Torino 2013, p. 25.
11. C. Bassetti, "Sleepwalking (somnambulism): Dissociation between 'body sleep' and 'mind sleep'", in S. Laureys, G. Tononi (a cura di), *The Neurology of Consciousness Cognitive Neuroscience and Neuropathology*, Elsevier, Amsterdam-Boston-Heidelberg et al. 2009, pp. 108-118.
12. M. Inostroza, J. Born, "Sleep for preserving and transforming episodic memory", in *Annual Review of Neuroscience*, 36, 2013, pp. 79-102; A.D. Grossmark, G. Buzsáki, "Diversity in neural firing dynamics supports both rigid and learned hippocampal sequences", in *Science*, 351, 2016, pp. 1440-1443.
13. C.M. Child, "Statistics of 'unconscious cerebration'", cit., pp. 249-259.
14. P.A. Vanable et al., "Sleep latency and duration estimates among sleep disorder patients: Variability as a function of sleep disorder diagnosis, sleep history, and psychological characteristics", in *Sleep*, 23, 2000, pp. 1-9.
15. E. Miró, M.C. Cano, L. Espinosa-Fernández, "Time estimation during prolonged sleep deprivation and its relation to activation measures", in *Human Factors*, 45, 2003, pp. 148-159; L. Casini, C. Ramdani-Beauvir

et al., "How does one night of sleep deprivation affect the internal clock?", in *Neuropsychologia*, 51, 2013, pp. 275-283.

11. IL TEMPO DEL CERVELLO AMMALATO DI TUMORE MALIGNO

1. S. Hofer et al., "Clinical outcome with bevacizumab in patients with recurrent high-grade glioma treated outside clinical trials", in *Acta Oncologica*, 50, 5, 2011, pp. 630-635.
2. H. Duffau, "Do brain tumours allow valid conclusions on the localisation of human brain functions?", in *Cortex*, 47, 2011, pp. 1016-1017.
3. A. Schirmer, K. Alter, S.A. Kotz, A.D. Friederici, "Lateralization of prosody during language production: A lesion study", in *Brain and Language*, 76, 2001, pp. 1-17.
4. P. Kalanithi, *Quando il respiro si fa aria. Un medico, la sua malattia e il vero significato della vita*, tr. it. Mondadori, Milano 2016, p. 127.

12. NON CI POSSIAMO CONGEDARE DAL TEMPO

1. S. Carroll, "Is time a real phenomenon or a human perception?", in *New Scientist*, 23 gennaio 2010, p. 46.
2. L. Smolin, *La rinascita del tempo. Dalla crisi della fisica al futuro dell'universo*, tr. it. Einaudi, Torino 2014; M.R. Unger, L. Smolin, *The Singular Universe and the Reality of Time: A Proposal in Natural Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) 2015.
3. J.S. Bell, *Dicibile e indicibile in meccanica quantistica*, tr. it. Adelphi, Milano 2010, p. 206.
4. J. Gleick, "Time regained!", in *The New York Review of Books*, 6 giugno 2013.
5. S. Hawking, "Ai margini dello spaziotempo", tr. it. in P. Davies (a cura di), *La nuova fisica*, Bollati Boringhieri, Torino 1992, pp. 71 sgg.
6. D. Rickles, M. Kon (a cura di), "Interdisciplinary perspectives on the flow of time", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 1-96.
7. G.F.R. Ellis, "The evolving block universe and the meshing together of times", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 26-41.
8. F. Dowker, "The birth of space-time atoms and the passage of time", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 18-25.
9. E. Anderson, "Problem of time: Facets and Machian strategy", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 42-59.
10. Th. Muller, A.C. Nobre, "Perceiving the passage of time: Neural possibilities", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 60-71.
11. A.D. Friederici, K. Alter, "Lateralization of auditory language functions: A dynamic dual pathway model", in *Brain and Language*, 89, 2004, pp. 267-276; I. McGilchrist, *The Master and his Emissary. The Divided Brain and the Making of the Western World*, Yale University Press, New Haven-London 2010, pp. 75 sgg.
12. S. Weinberg, *Spiegare il mondo. La scoperta della scienza moderna*, tr. it. Mondadori, Milano 2016 (ed. consultata *To Explain the World. The Discovery of Modern Science*, Penguin, London 2015, pp. 266 sgg.).
13. N. Huggett, "Skeptical notes on a physics of passage", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1326, 2014, pp. 9-17.
14. Vedi A. Gefter, *Due intrusi nel mondo di Einstein*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2015, p. 350.

13. FINALE

1. Vedi R.C. Berwick, N. Chomsky, *Why Only Us: Language and Evolution*, MIT Press, Cambridge (MA)-London 2016.

GLOSSARIO*

Amigdala. Forma la testa dell'*ippocampo*. È il "cane da guardia" dell'integrità, perché crea il senso dell'ansia e della paura, dell'aggressività, dell'ira. È attiva quando uno spazio di tempo è più lungo del previsto: alimenta, cioè, l'ansia del ritardo. Attraverso l'*ipotalamo* e il sistema simpatico, l'amigdala contribuisce alle reazioni neurovegetative (pallore, rossore, brividi ecc.).

Area somatosensoriale. È l'area corticale primaria della sensibilità della parte opposta del corpo. Si trova dorsalmente all'area motoria.

Assone. Prolungamento del corpo del *neurone* lungo il quale corre lo stimolo elettrico. Nell'85 per cento dei casi il collegamento con altri neuroni avviene attraverso un organo a funzione elettrochimica, la *sinapsi*.

Cervelletto. Parte posteriore dell'*encefalo*, composta da due piccoli emisferi uniti nella parte mediana da un struttura chiamata, per la sua forma, verme del cervelletto. Oltre che dare armonia, sicurezza e precisione ai movimenti, il cervelletto è coinvolto nel senso del tempo.

Cervello. Parte frontale dell'*encefalo* composta da due emisferi, ciascuno dei quali composto dai lobi frontale, parietale, occipitale, temporale e dal *corpo calloso*.

Corpo calloso. La maggiore delle connessioni fra i due emisferi cerebrali, composta da circa 100 milioni di fibre.

Corteccia visiva primaria. Area del lobo occipitale in cui avviene l'elaborazione corticale degli stimoli visivi provenienti dai nervi ottici. Ha un collegamento forte con i centri della memoria.

Diaschisi. Nel 1914 il neurologo zurighese Constantin von Monakow elaborò la teoria della "diaschisi", secondo la quale una lesione

* Il corsivo indica termini a loro volta definiti nel glossario.

cerebrale circoscritta può provocare la modificazione funzionale (di regola la diminuzione dell'attività) di aree cerebrali lontane. Il collegamento strutturale e funzionale, attraverso gli assoni dei neuroni, fra la regione lesa (in genere da un ictus) e aree distanti indurrebbe l'alterazione dell'attività di meccanismi cerebrali anatomicamente indenni. La recente scoperta di fasci nervosi molto lunghi, che collegano aree distanti, corrobora la diaschisi.

Elettroencefalografia (EEG). Misurazione neurofisiologica dell'attività elettrica spontanea del cervello. Comunemente gli elettrodi sono posti sulla cute del cranio, in caso di operazione al cervello sulla corteccia cerebrale (elettrocorticografia). Vedi anche *potenziali evocati*.

Encefalo. Parte del sistema nervoso all'interno del cranio: due emisferi, il *corpo calloso* e altre commissure che trasmettono informazioni nelle due direzioni, il *cervelletto* e il *tronco encefalico*.

Gangli della base. Accumulo di *neuroni* nella profondità del cervello. Essi hanno un ruolo fondamentale nel movimento, nella postura e nell'equilibrio.

Glia. I quattro tipi istologici delle innumerevoli cellule della glia (si pronuncia "ghlia") erano considerati supporto di *neuroni* e *assoni*. Si è scoperto che hanno a loro volta un'attività elettrica.

Insula. Organo di corteccia cerebrale a forma triangolare posto nella profondità di ciascun emisfero. Ha un ruolo fondamentale nel rapporto cognitivo ed emotivo dei centri della coscienza con il corpo e con il mondo. Svolge un ruolo importante nel senso del tempo e dello spazio, e nella memoria. Ha un collegamento importante con il lobo parietale.

Ippocampo. Struttura a tre e non a sei strati cellulari (come quasi tutta la corteccia cerebrale), a forma di cavalluccio marino, collocata nella parte mediana e profonda dei *lobi temporali*. È un crocevia fondamentale per la memoria, il senso del tempo e dello spazio nonché, attraverso il collegamento con *l'amigdala*, per le emozioni e l'affettività. Dal 1991 la rivista *Hippocampus* è dedicata agli studi di questo organo.

Neurone. Unità funzionale del sistema nervoso. È una cellula che produce corrente elettrica e che, attraverso un prolungamento, arriva ad altri neuroni o all'organo bersaglio (per esempio, un muscolo). Nell'uomo ci sono circa 86 miliardi di neuroni.

Neuroscienze cognitive. Ramo delle neuroscienze che studia i meccanismi nervosi della coscienza: percezione, riflessioni, emozioni, scelte, memoria.

Neurolinguistica. Ramo delle neuroscienze che studia i meccanismi nervosi del linguaggio.

Nucleo ipotalamico soprachiasmatico. Nucleo mediano di pochi neuroni che regola la vita vegetativa (pressione arteriosa, ritmo sonno-veglia, temperatura del corpo, livello degli ormoni nel sangue ecc.). È un metronomo autoregolato della cui attività non si è consapevoli. Non va confuso con il senso del tempo.

Potenziali evocati. Componenti dell'*elettroencefalografia* che compaiono in risposta a uno stimolo (acustico, visivo, somatosensoriale).

Risonanza magnetica funzionale (fMRI). Genera immagini che misurano le modificazioni del flusso sanguigno dovute alla diversa concentrazione di ossigeno nel sangue. Ciò modifica l'intensità del segnale nella MRI (risonanza magnetica normale). A differenza della MRI normale, la tecnica funzionale registra moltissime immagini con grande rapidità, correlando così le modificazioni del flusso alle immagini dell'attività cerebrale. Le fMRI hanno una risoluzione spaziale di pochi millimetri e una risoluzione temporale di secondi.

Sinapsi. Fessura fra la membrana presinaptica all'estremità dell'*assone* che porta lo stimolo e quella postsinaptica dell'organo che lo riceve.

Sistema limbico. È formato da strutture cerebrali filogeneticamente molto arcaiche (il cosidetto protocervello) che comprendono l'amigdala, la parte frontale della corteccia cingolata, il fornice, l'ippocampo, il septum e, per alcuni autori, anche l'insula. Benché la visione tradizionale del sistema limbico sia superata, è tuttavia lecito considerarlo la sede della vita emotiva o, come oggi si dice, dei meccanismi della sopravvivenza.

Stereotassia. Attraverso una minuscola apertura del cranio si introduce nella profondità del cervello un elettrodo secondo una traccia, precisa per frazioni di millimetro, prestabilita da un simulatore. Fu introdotta per coagulare con una scarica elettrica le aree che procurano il tremore del Morbo di Parkinson.

Tomografia assiale computerizzata (TAC). Ricostruzione computerizzata di strati di un organo radiografati a varie distanze (2 o 4 mm) in un'immagine pluridimensionale. Ha rappresentato uno dei più importanti progressi dell'ultimo secolo nella diagnostica, non solo cerebrale.

Tomografia con emissione di positroni (PET). Rileva indirettamente l'attività cerebrale misurando i cambiamenti del flusso sanguigno. *Neuroni* attivi richiedono un aumento del flusso sanguigno, marcato

con un tracciante radioattivo somministrato endovena. Il flusso aumentato è registrato dalla PET. Data la risoluzione spaziale scarsa e quella temporale minima, la PET è sempre più sostituita dalla fMRI.

INDICE DEI NOMI

Abbado, Claudio, 44
Agostino di Ippona, 17, 50
Anderson, Edward, 89
Arendt, Hannah, 15
Aristotele, 72

Bacon, Francis, 28, 35
Bell, John Stewart, 86
Bergson, Henri, 14
Borges, Jorge Luis, 11-12
Brahms, Johannes, 44

Carroll, Sean, 86
Chailly, Riccardo, 44
Changeux, Jean-Pierre, 44
Chomsky, Noam, 92
Critchley, Macdonald, 52

d'Alembert, Jean-Baptiste le Rond, 22
Darwin, Charles Robert, 69
du Bois-Reymond, Emil Heinrich, 26
Dowker, Fay, 89

Eddington, Arthur, 22, 91
Edelman, Gerald, 66
Einstein, Albert, 13, 15, 22-23, 39-40, 85-86
Elias, Norbert,14, 33
Ellis, George Francis Rayner, 88-89

Feynman, Richard, 33
Fraisse, Paul, 15

Galilei, Galileo, 34-35, 86

Hawking, Stephen, 15
Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, 67
Heidegger, Martin, 14-15, 50
Helmholtz, Hermann von, 14, 23, 25-29, 54, 58
Helmholtz, Olga von Velten von, 26
Hofmannsthal, Hugo von, 28
Huggett, Nick, 90
Humboldt, Alexander von, 25-26
Hume, David, 59, 72
Husserl, Edmund, 14

James, William, 14

Kalanithi, Paul, 51
Kandel, Eric, 69
Kant, Immanuel, 13

Lashley, Karl Spencer, 47
LeDoux, Joseph, 28
Leibniz, Gottfried Wilhelm, 21-22
Libet, Benjamin, 14-15, 28, 30, 32, 62-63, 65-66

Mach, Ernst, 28, 65
Mahler, Gustav, 44

Mann, Thomas, 14
Marey, Étienne-Jules, 28-29
McTaggart, John Ellis, 23
Miller, Henry, 40
Minkowski, Eugène, 14, 73
Minkowski, Hermann, 22
Monakow, Constantin von, 16
Müller, Johannes, 25-26
Muller, Thomas, 89

Newton, Isaac, 21, 73
Nichols, Herbert, 21
Nobre, Anna Christina, 89

Ornstein, Robert Evan, 39

Panciera, Nicla, 73
Penrose, Roger, 15
Petrarca, Francesco, 65
Planck, Max, 17
Platone, 13
Plotino, 13
Pöppel, Ernst, 35, 48
Proust, Achille Adrien, 29
Proust, Marcel, 14, 29

Ricoeur, Paul, 14
Rovelli, Carlo, 15, 90

Schumann, Robert, 44
Searle, John Rogers, 19
Smolin, Lee, 86-88

Tulving, Endel, 15

Unger, Roberto Mangabeira, 87

Vallortigara, Giorgio, 73

Walter, Bruno, 44
Weinberg, Steven, 89-90
Wheeler, John Archibald, 17, 48, 90

Ultimi volumi pubblicati

41. G. Cosmacini, *Ciarlataneria e medicina*
42. J.-M. Barrault, *La terra è rotonda*
43. M. Rees, *Prima dell'inizio*
44. J.L. Casti, *I cinque di Cambridge*
45. J.R. Searle, *Il mistero della coscienza*
46. R.L. Gregory, *Occhio e cervello*
47. B. Forte, *Teologia in dialogo*
48. C. Allègre, *Dio e l'impresa scientifica*
49. G. Reale, *Corpo, anima e salute*
50. J.-P. Changeux, P. Ricoeur, *La natura e la regola*
51. E. Husserl, *L'idea di Europa*
52. C.M. Martini, *Orizzonti e limiti della scienza*
53. M. Hack, *Sette variazioni sul cielo*
54. H. Hellman, *Le dispute della scienza*
55. J.-F. Bouvet (a cura di), *Gli spinaci sono ricchi di ferro*
56. R. Gilmore, *Il quanto di Natale*
57. C.A. Pickover, *Tempo*
58. C. Darwin, *Lettere 1825-1859*
59. P. Virilio, *La bomba informatica*
60. J. Polkinghorne, *Credere in Dio nell'età della scienza*
61. T.S. Kuhn, *Dogma contro critica*
62. M. Zambrano, *Delirio e destino*
63. C. Formenti, *Incantati dalla rete*
64. J.-P. Vernant, *L'individuo, la morte, l'amore*
65. J.R. Searle, *Mente, linguaggio, società*
66. L. Boltanski, *Lo spettacolo del dolore*
67. C. Sini, *Idoli della conoscenza*
68. G. Cosmacini, *Il mestiere di medico*
69. B. Latour, *Politiche della natura*
70. R.N. Proctor, *La guerra di Hitler al cancro*
71. G.B. Dyson, *L'evoluzione delle macchine*
72. P. Odifreddi, *Il computer di Dio*